

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
АГРАРНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЛАГУНОВ ОЛЕКСІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ:
завідувач кафедри Механізації
сільського господарства
канд.техн. наук, доцент
_____ Анатолій Поляков
«___» _____ 2023 р.

ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМИ
ЗАЛІЗО-БОРИДНИМИ СПЛАВАМИ

Спеціальність 208 Агроінженерія

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Керівник: докт.техн.наук, професор
Кім Єн Дар

Оцінка: _____ / _____ / _____
бали/за шкалою ЄКТС/за націон. шкалою

Київ - 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Аграрний
Кафедра «Механізації сільського господарства»
Рівень вищої освіти Другий – магістр
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____Анатолій Поляков

«____» _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

ЛАГУНОВА ОЛЕКСІЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧА

1. Тема роботи «Відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки електролітичними залізо-боридними сплавами»
керівник роботи Кім Є.Д. докт.техн.наук, професор
затверджено наказом СНУ ім. В. Даля від «____» ____ 2023 р. № _____
2. Строк подання здобувачем роботи 27.11.2023р. _____
3. Вихідні дані до роботи
 - 1) завдання кафедри;
 - 2) матеріали огляду літературних джерел; нормативно - технічна документація.
4. Зміст основної частини роботи:
 - Стан питання і завдання дослідження.
 - Загальна методика дослідження.
 - Результати експериментальних досліджень і їх аналіз.
 - Економічна ефективність і виробничі рекомендації по застосуванню Fe - В покриттів
5. Перелік графічного матеріалу:
 - Актуальність розробки теми.
 - Методи зміцнення електроосаджених залізних покриттів.
 - Принципова схема установки для електролітичного покриття на змінному асиметричному струмі.
 - Схема нарощування на асиметричному змінному струмі.
 - Вибір боромісної добавки до електроліту залізнення.
 - Схема технологічного процесу електролітичних залізоборидних покриттів.
 - Залежність мікротвердості і зносу залізоборидних покриттів від температури ціанування.
 - Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Стан питання і завдання дослідження	24.09.2023	
2	Загальна методика дослідження	24.09.2022	
3	Результати експериментальних досліджень і їх аналіз	18.10.2023	
4	Економічна ефективність і виробничі рекомендації по застосуванню Fe - В покриттів	30.10.2023	

Здобувач вищої освіти _____ Олексій Лагунов

Керівник _____ Кім Єн Дар

АНОТАЦІЯ

Лагунов О. О. «Відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки електролітичними залізо-боридними сплавами»: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»: 208 «Агроінженерія»/ Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Київ, 2023. 77 с.

У кваліфікаційній роботі висвітлені результати аналізу сучасного стану технології відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки електролітичним нарощенням з метою підвищення їх ресурсу. Розроблена технологія та визначені оптимальні режими процесу нарощення заліза з бором з подальшою обробкою ціануванням.

Ключові слова: технологія, електролітичне нарощення Fe+B, зміцнення нарощеного шару ціануванням.

Кваліфікаційна робота: 77 сторінок, 4 таблиці, 41 рисунок, 76 літературних джерел.

ABSTRACT

Lagunov O. O. "Restoration and strengthening of agricultural parts techniques with electrolytic iron-boride alloys": qualifying work for obtaining the degree of higher education "master": 208 "Agroengineering"/Volodymyr Dahl Eastern Ukrainian National University named after . Kyiv, 2023. 77 p.

The qualification work highlights the results of the analysis of the current state of the technology of restoration and strengthening of parts of agricultural machinery by electrolytic build-up in order to increase their resource. The technology was developed and the optimal modes of the process of increasing iron with boron were determined followed by cyanide treatment.

Key words: technology, Fe+B electrolytic build-up, strengthening of the build-up layer by cyanation.

Qualification work: 77 pages, 4 tables, 41 figures, 76 literary sources.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 Стан питання і завдання дослідження	8
1.1 Сучасні способи відновлення деталей сільськогосподарської техніки	8
1.2 Застосування електролітичного залізнення при відновленні деталей сільськогосподарської техніки	12
1.3 Нестационарні умови електролізу	14
1.4 Електроосадження зносостійких сплавів	17
1.5 Термічні і хіміко-термічні способи зміцнення залізних покриттів	20
1.6 Номенклатура деталей, що вимагають відновлення зміцненим електролітичним залізом	22
1.7 Висновки. Напрями дослідження	23
2 Загальна методика дослідження	24
2.1 Методика нанесення покриттів	24
2.2 Методика дослідження покриттів	28
3 Результати експериментальних досліджень і їх аналіз	32
3.1 Визначення режимів електролізу	32
3.2 Результати досліджень змісту бору в залізоборидних покриттях	36
3.3 Результати досліджень мікротвердості залізоборидних покриттів	39
3.4 Вплив умов електролізу на зчіплюваність залізоборидних покриттів з основним металом	41
3.5 Дослідження внутрішньої напруги в легованих залізних покриттях	44
3.6 Дослідження зносостійкості залізоборидних покриттів	45
3.7 Результати досліджень впливу режимів ціанування на глибину дифузійних шарів	46

3.8 Твердість і фазовий склад ціанованих шарів	50
3.9 Зносостійкість ціанованих шарів	51
3.10 Висновки до 3 розділу	58
4 Економічна ефективність і виробничі рекомендації по застосуванню Fe - В покриттів	59
4.1 Економічна ефективність відновлення деталей сільськогосподарської техніки залізоборидними покриттями	59
4.5 Виробничі рекомендації по експлуатації установок для відновлення деталей залізоборидними покриттями	65
4.3 Рекомендації по зміцненню Fe - В покриттів ціануванням	68
4.4 Висновки до 4 розділу	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

Поліпшення функціональності і підвищення експлуатаційної надійності сільськогосподарської техніки в умовах експлуатації є одним з найбільш важливих питань, на яке необхідно відповідати сучасному промисловому виробництву. Тривала практика підтверджує, що тривалість і надійність експлуатації сільськогосподарської техніки вітчизняного виробництва не можна вважати задовільною. Із-за низького опору зносу споживання стали і чавуну для виробництва запасних частин машин, працюючих в АПК, значно вище, ніж споживання металу для виробництва самих машин.

Найбільш важливим питанням в ремонтному виробництві є забезпечення його запасними частинами. Економічно доцільно вирішувати його шляхом використання сировини вторинного виробництва, джерелом якого є зношені деталі машин. Передові ремонтні підприємства, використовуючи різноманітні способи відновлення деталей і витрачаючи при цьому малу кількість нового металу, успішно вирішують задачу повторного використання зношених деталей.

Ремонтне виробництво, даючи друге життя деталям, вивільняє значні виробничі потужності в машинобудуванні і цим прискорює процес насичення народного господарства новими машинами.

Технологічний процес відновлення деталей машин має бути високопродуктивним і економічним. Вказаним вимогам цілком відповідає процес електролітичного залізнення. Проте, як показують численні дослідження, чистий електролітичний осад заліза не завжди відповідає вимогам, що пред'являються до покриттів деталей.

Довговічність відновлених деталей можна підвищити при зміцненні електроосажденного заліза бором з подальшою обробкою ціануванням, що дозволить досягти значного збільшення зносостійкості покриттів.

ГЛАВА 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сучасні способи відновлення деталей сільськогосподарської техніки

Працівники авторемонтного виробництва повинні вирішити ряд важливих завдань, до яких у тому числі відноситься підвищення якості ремонту сільськогосподарської техніки, що дозволяє значно збільшити коефіцієнт технічної готовності і міжремонтні терміни їх служби.

При існуючій організації виробництва на ремонт сільськогосподарської техніки витрачаються величезні кошти, тому потрібне зниження витрат на ремонт при одночасному підвищенні його якості.

Відновлення деталей на спеціалізованих заводах і в цехах повинне вестися не усіма можливими способами, а лише сучасними, найбільш рентабельними і такими, що забезпечують довговічність відновлених деталей.

Якість ремонту сільськогосподарської техніки і підвищення термінів її служби великою мірою залежить від того, як організовано і якими способами робиться відновлення зношених і пошкоджених деталей.

Деталі сільськогосподарської техніки, що поступають в ремонт, мають дуже різноманітні дефекти, які можуть виникнути в процесі експлуатації техніки в результаті конструктивних недоробок окремих вузлів і відступів від технічних умов на їх виготовлення або із-за порушення правил технічної експлуатації техніки і, головне, від природного зношування.

Сучасна сільськогосподарська техніка має досить досконалу конструкцію, а її виробництво є одним з самих передових в області машинобудування, тому дефекти деталей з конструктивних або виробничих причин - явище у край рідкісне.

Умови експлуатації сільськогосподарської техніки, технічне обслуговування і ремонт можуть зробити як позитивну дію, уповільнюючи процес виникнення дефектів від природного зношування, так і негативне, викликаючи прискорений знос і різні ушкодження деталей.

В результаті зносу початкові розміри зв'язаних поверхонь деталей змінюються, а геометрична форма їх спотворюється, якщо зношування протікає нерівномірно. На зв'язаних поверхнях деталей спостерігаються риси, надіри, локальні вифарбовування або відколювання металу, або поверхневі тріщини. Останні виникають переважно з причин втоми металу. Робота деталей при навантаженнях, що перевершують розрахункові, і порушення жорсткості і взаємного положення деталей у вузлі, окрім зносу, може привести до відчутніших залишкових деформацій у вигляді погнутості, скрученості, вм'ятин та ін. Деталі, працюючі в умовах високих температур, піддаються ще і дії газової корозії і викривленню.

Для відновлення повної працездатності зношених деталей необхідно повернути їм початкові розміри, геометричну форму і поверхневі властивості, передусім твердість, оскільки усі властивості серцевини, як правило, зберігаються, якщо не рахувати окремих випадків зародження втомних тріщин в процесі зношування. В цьому випадку взаємозамінюваність деталей і посадка сполучень відновлюються повністю.

До основних способів відновлення деталей можна віднести наступні: метод ремонтних розмірів і додаткових деталей, тиск, зварювання, наплавлення, металізація, електролітичне відновлення. Розглянемо кожного із способів окремо.

При відновленні методом ремонтних розмірів деталей з'єднання, що зносилися, обробляють до зникнення слідів зносу або до отримання певного розміру, а другу, найчастіше дешевшу, замінюють новою. Наприклад, зношену шийку валу обробляють до зникнення слідів зносу і комплектують її з новою втулкою, що забезпечує з отриманим розміром шийки валу необхідну посадку. Такий ремонт може робитися послідовно кілька разів, причому діаметр валу поступово зменшуватиметься, а діаметр отвору ремонтної деталі збільшуватися [1].

Таким чином, істотним недоліком способу ремонтних розмірів є порушення взаємозамінності деталей, що не дозволяє проводити ремонт і технічне обслуговування сільськогосподарської техніки на базі нових або

заздалегідь відновлених запасних частин. За умови взаємозамінності відновлених деталей увесь ремонт машин отримав би найбільш прийнятну сучасну організаційну форму і міг би звестися до заміни деталей, вузлів і агрегатів. Наявність деталей з ремонтними розмірами, окрім порушення взаємозамінності, здорожує і ускладнює дефектацію, відновлення і контроль деталей, а також технологічний процес і організацію збірки. Застосування способу ремонтних розмірів по суті визначається тільки двома деталями - блоками циліндрів і колінчастими валами.

Спосіб додаткових деталей, компенсуючих знос, отримав поширення ще на початку розвитку ремонтного виробництва. Найбільше застосування він знаходить для відновлення отворів під підшипники кочення і різьбових отворів у базових деталях, а також деяких деталей класу валів і хрестовин. Як показують дослідження знос шийок валів, а також отворів під підшипники кочення дуже невеликі і в середньому не перевищують 0,1 мм. При такому незначному зносі відновлення даним способом є складним і дорогим. Ще нераціональніше використати спосіб додаткових деталей для відновлення шийок валів, працюючих при знакозмінних навантаженнях. Відомо, що напрессовка втулок знижує втомну міцність деталей до 34 %. Цей спосіб був би дуже прогресивним, якби при конструюванні агрегатів у багатьох деталях, відновлення яких обходиться дуже дорого, передбачалися змінні втулки.

Таким чином, способи ремонтних розмірів і додаткових деталей в тому вигляді, як вони застосовуються по багатьох сполученнях, мають ряд дуже істотних недоліків і не можуть вважатися передовими.

Одним із ранніх способів відновлення деталей є спосіб тиску. В період розвитку авторемонтного виробництва способом тиску відновлювалися поршневі пальці, голівки клапанів, сферичні поверхні рульової тяги, різні втулки, труби півосей. Суть способу тиску і технологічний процес широко і докладно досліджені і викладені в працях В. С. Єфремова, А.Н. Батищева, Н.В. Молодика та ін.[32,48,63].

Зварювання застосовується для усунення різних ушкоджень деталей у вигляді тріщин, а також для приварювання відколів і відламів в литих чавунних деталях. Доцільність відновлення деталей і область використання

того або іншого виду зварювання визначається мірою ушкодження і призначенням деталі.

Для відновлення розмірів і геометричної форми деталей замість зварювання широко застосовується наплавлення. Цей спосіб відноситься до металлопокрытиям. Вони дозволяють відновлювати зношені деталі сільськогосподарської техніки під початкові розміри із забезпеченням взаємозамінності. У цьому полягає велика перевага металлопокрытів в порівнянні з іншими способами. Крім того, з їх допомогою можна відновлювати деталі, що вийшли з усіх ремонтних розмірів. Разом з цими загальними перевагами кожен із способів металлопокрытів має і свої специфічні достоїнства.

Технологія відновлення колінчастих валів досліджена в роботах А.А. Зуєва [2, 3]. На відновлювану шийку валу, заздалегідь оброблену, встановлюють тонкостінну сталеву загартовану розрізну ремонтну втулку, а потім приварюють її до шийки із застосуванням щадних зварювальних режимів.

Одним з основних сполучень, що визначають довговічність відремонтованих двигунів, є сполучення поршень - гільза. До можливих шляхів відновлення цього сполучення відноситься застосування нових антифрикційних матеріалів. Питанням антифрикційної обробки присвячені роботи [4, 5].

Забезпечення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин, де розглянуті нові технології, що базуються на нанесенні твердих сплавів на основний метал. У світлі цього особливий інтерес викликає електроосадження металів і сплавів на зношену поверхню.

Хромування забезпечує більш високу зносостійкість деталей в порівнянні зі зносостійкістю відповідних нових деталей. Завдяки цьому

техніко-економічна ефективність відновлення деталей хромуванням при великій програмі завжди висока, але продуктивність нарощування покриття дуже низька.

Залізнення є методом, що дозволяє отримувати покриття високої

твердості при низькій собівартості відновлення. Зносостійкість таких покриттів є високою, а міцність зчеплення з основним металом достатньою, оскільки відшарування або вифарбовування осаду не відбувається.

Ремонтні підприємства, використовуючи різноманітні способи відновлення деталей і витрачаючи при цьому малу кількість нового металу, успішно вирішують задачу повторного використання зношених деталей. Технологічний процес відновлення деталей машин має бути високопродуктивним і економічним. Вказаним вимогам цілком відповідає процес електролітичного залізнання. Дослідники прагнуть до того, щоб відновлені поверхні деталей по довговічності дорівнювали новим деталям, а в деяких випадках і перевершували їх.

1.2 Застосування електролітичного залізнання при відновленні деталей сільськогосподарської техніки

У практиці відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки широке поширення отримав спосіб електролітичного залізнання.

Хімічний склад електролітичного заліза близький до складу хімічно чистого заліза, а за фізико-механічними властивостями - до середньовуглецевої сталі і не зазнає сильних змін при значних коливаннях режимів електролізу.

Твердість, зносостійкість, внутрішня напруга, втомна міцність, міцність зчеплення з основним металом - найважливіші характеристики якості електролітичних залізних покриттів, від яких залежить можливість їх застосування в різних умовах експлуатації.

Зносостійкість покриття є одним з основних показників довговічності відновлених деталей.

Багато деталей сільськогосподарської техніки працюють при знакозмінних навантаженнях в процесі експлуатації, тому вивченню втомної міцності електролітичного залізного покриття присвячені роботи багатьох учених [8-13]. Деякі дослідження показують, що залізні покриття знижують втомну міцність деталей, а це залежить від умов електролізу, товщини покриттів і інших чинників.

Проте, як би високі не були властивості отриманого покриття, на його працездатність головним чином впливає міцність зчеплення з основою [8]. Цей параметр залежить від матеріалу деталі, внутрішньої напруги, складу електроліту і режиму електролізу.

Для технологічного процесу твердого залізнення був запропонований для промислового освоєння електроліт, що складається з кислого розчину хлориду заліза малої концентрації (200-220 кг/м³ FeCl₂·4H₂O) без добавок і з добавкою хлориду натрію (100 кг/м³ NaCl) і хлориду марганцю (MnCl₂·4H₂O) з концентрацією соляної кислоти 0,5-0,8 кг/м³. При цьому температура електроліту була 80 °С, а щільність струму 40 – 50 А/дм².

Покриття, отримані з цих електролітів, мали наступні характеристики:

- мікротвердість до $H_{\mu} = 600$ кг/мм² ;
- міцність зчеплення $\sigma_{\text{від}} =$ до 4500 кг/см²;
- швидкість осадження $\vartheta = 0,4 \dots 0,5$ мм/год.

В процесі освоєння технології твердого залізнення підбирались режими електролізу і виявлялася залежність мікротвердості покриттів від умов електролізу. Був встановлений закономірний зв'язок між структурою покриттів, внутрішньою напругою в них і втомною міцністю.

Однією з умов інтенсифікації залізнення є застосування високих густин струму. При щільності струму 60 А/дм² у звичайних умовах залізнення на покритті спостерігається поява густої сітки тріщин. Таке покриття має низьку зносостійкість, процес осадження супроводжується активним дендридоутворенням. При катодній щільності струму 80-100 А/дм² швидкість осадження становила 18-20 мкм/хв, мікротвердість покриттів - 6500-7000 МПа. В результаті досліджень були уточнені рекомендації по електролітичній підготовці поверхонь відновлюваних деталей і було показано, що при виконанні усіх вимог технологічного процесу твердого осталення міцність зчеплення покриття з основою досягає міцності матеріалу деталі.

Результати досліджень виявили наявність прямого зв'язку між твердістю

покриттів і їх зносостійкістю, а також було показано, що зносостійкість покриттів підвищується зі збільшенням твердості до певної межі, а потім різко падає.

Проте залізненню, незважаючи на багато переваг перед іншими покриттями, властиві також і серйозні недоліки: невисока швидкість осадження і нагрів ванни з електролітом до 70-90°C, що призводить до випарів електроліту, його агресивності і істотно ускладнює експлуатацію ванни, вимагаючи значної витрати енергії на нагрів [21].

1.3 Нестационарні умови електролізу

Для інтенсифікації процесу залізнення необхідно в першу чергу понизити робочу температуру електроліту. Проте недоліками холодних електролітів є низька продуктивність, низька мікротвердість і невисока зносостійкість отримуваних покриттів. Вдосконалення технологічних процесів осадження залізних покриттів з холодних електролітів можна вести по наступних напрямках:

- 1) застосовувати підвищену щільність струму для створення стабільних електролітів;
- 2) забезпечити високу продуктивність процесу електроосадження шляхом використання нестационарних умов електролізу.

Застосування високої щільності струму призводить до розтріскування покриттів і до дендридоутворення.

Нестационарні умови електролізу створюються веденням процесу осадження в проточних електролітах, використанням ультразвукових і магнітних коливань, введенням програмного управління параметрами електроосадження, застосуванням періодичних струмів різних форм.

Більшість з цих способів не знайшли широкого застосування в ремонтному виробництві із-за складності установок і недостатньої ефективності процесів.

Дещо збільшити вихід по струму заліза, а також мікротвердість покриттів можливо застосуванням проточного залізнення [22]. Цей спосіб

зарекомендував себе при відновленні великогабаритних деталей і деталей складної форми, оскільки процес можна вести, задіявши тільки певні ділянки поверхонь. Але в той же час для реалізації цього способу потрібні складні установки і при його реалізації не відбувається ріст продуктивності процесу в цілому.

В роботі [23] розглянутий спосіб електроосадження з накладенням електромагнітного поля, який дозволяє підвищити однорідність мікротвердості покриття, тим самим поліпшити фізико-механичні властивості отриманих покриттів, а також зменшити їх розтріскуваність. Але для впровадження цього методу потрібні великі витрати, а устаткування для його реалізації є досить складним. З цих причин цей спосіб не знайшов широкого застосування в ремонтному виробництві.

Враховуючи викладене вище, найбільш перспективними являються розробки простіших в реалізації і управлінні технологій, які пов'язані зі зміною режимів живлення гальванічних ванн. Цього можна досягти за рахунок використання змінних струмів, які дозволяють підвищити робочу щільність струму. Також цим способом можна змінювати властивості отримуваних покриттів за рахунок зміни електричних параметрів.

У працях [24, 25] розглянуто отримання електролітичних покриттів на асиметричному несинусоїдальному струмі, який отриманий шляхом розділення змінного струму на негативну (катодну) і позитивну (анодну) складові за допомогою вентилів симетричного змінного струму. Ці складові регулюються незалежно один від одного реостатами. Автори цих досліджень встановили, що цим способом можна підвищити продуктивність процесу осадження в холодному електроліті до продуктивності гарячих електролітів на постійному струмі.

Вивчаючи міцність зчеплення електроосадженого покриття з основним металом установлено, що нестаціонарні умови електролізу сприяють досить високій зчіплюваності опадів заліза з підкладкою.

Вплив зворотного імпульсу на структуру електролітичного заліза розглянутий в статтях [29, 30, 31]. На думку дослідників, збільшення величини

зворотного імпульсу, а також його тривалість може привести до росту розміру блоків електроосадженого заліза, що може бути пов'язано з розчиненням в анодній частині періоду дрібних центрів електрокристалізації.

Було встановлено [25] , що отримання високоякісних і зносостійких електролітичних опадів заліза можливе із застосуванням періодичного струму із зворотним імпульсом. Цей спосіб дозволяє зменшити тріщиноутворення та підвищити продуктивність електроосадження в 3,0-3,5 разу в порівнянні з постійним струмом.

Також відомо, що окрихчування осадів електролітичного заліза і погіршення їх фізико-механічних властивостей є причинами присутності в покритті водню. В роботі [27] виявлено, що використання при електролізі періодичного струму дозволяє понизити зміст водню в осіданнях, що зменшує його негативний ефект.

Таким чином, можна припускати, що використання періодичного струму із зворотним імпульсом дозволяє отримати істотні переваги перед електроосадженням на постійному струмі. Нестационарні умови електролізу покращують фізико-механічні властивості покриттів, змінюють структуру покриттів, тим самим збільшуючи зносостійкість, і підвищують продуктивність електролітичного осаження.

Проте нестационарні умови електроосадження не вирішують проблеми невідповідності чистого електролітичного заліза для відновлення багатьох деталей сільськогосподарської техніки. Зміцнити його можливо наступними методами (рис. 1.1).

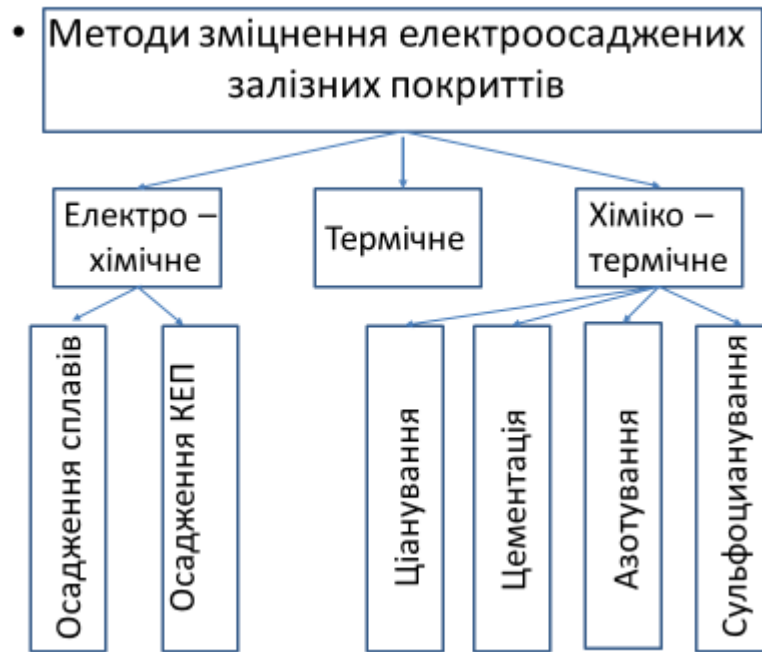


Рисунок 1.1. Методи зміцнення електроосадженого заліза

1.4 Електроосадження зносостійких сплавів

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що найбільш перспективними для відновлення деталей сільськогосподарської техніки являються електролітичні сплави на основі заліза, оскільки це найдешевший і доступніший метал.

Як вже відзначалося раніше, електролітичне залізо має відносно невисоку зносостійкість і невелику твердість. Для поліпшення цих параметрів залізо легують різними добавками, що не завжди призводить до поліпшення фізико-механичних властивостей покриттів, але завжди пов'язане з додатковими витратами. Можливість спільного осадження заліза з деякими добавками (марганцем, вуглецем, нікелем, хромом і іншими металами) показана в роботі [34].

При розгляді осадження заліза з марганцем був отриманий осад з електроліту, що містить $MnCl_2$. Хімічний аналіз цього осаду показав, що Mn на катоді не осідає разом із залізом. Це можна пояснити співвідношенням катодних потенціалів (нормальний потенціал значно негативніше нормального потенціалу Fe).

Для поліпшення фізико-механічних властивостей покриття в електроліт вводять солі NaCl і $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Проте детальні дослідження і виробничі випробування показали, що ці добавки якісно не впливають на покриття.

Додавання NaCl в хлоридний електроліт підвищує його електропровідність, а також зменшує випар електроліту. При температурі електроліту спостерігається деяке підвищення мікротвердості покриття. Подібна дія на процес електроосадження робить і введення в електроліт на основі FeCl_2 добавки $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Проте рівень концентрації хлориду кальцію вище 200 кг/м^3 допускати не слід, оскільки це може привести до отримання шорсткіших осадів [35].

Введенням різних добавок в електроліт для поліпшення фізико-механічних властивостей покриттів займалися [37-40], а в роботі [41] вивчалися сплави електролітичного заліза з воднем і було встановлено, що водень із залізом утворює фазу твердого розчину впровадження. Впровадження протонів в кристалічну решітку створює велику внутрішню напругу в металі і підвищує його твердість. Стан твердого розчину є стабільним при кімнатній температурі, але при нагріві заліза відбувається розпад твердого розчину і перегрупування атомів з утворенням нових фаз.

Утворенню гальванічного сплаву заліза з нікелем присвячено роботи [42,43,44], але більшість з них торкаються антикорозійної стійкості покриттів, а не структурного стану, механічних і зносостійких якостей цих сплавів. Дослідження залізоцинкового сплаву [45] були спрямовані на дослідження антифрикційних якостей. Зносостійкість і мікротвердість отриманого сплаву виявилася дещо вищими за ці ж параметри бабіту Б- 83.

Особливий інтерес в легуванні представляє молібден: в аустенітні сплави його додають для поліпшення корозійних і жароміцних властивостей, в інструментальні сталі - для поліпшення загартовуваності. Молібден підвищує міцність фериту і здатність сталі до поліпшення, а також збільшує опір повзучості при високих температурах. Значне застосування молібдену обумовлене тією обставиною, що він підвищує теплостійкість звичайної м'якої сталі.

Запропонований спосіб електролітичного осадження сплаву залізо-молібден, при використанні електроліту(кг/м³) $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 350...400; $(\text{NH}_4)_2\text{O}_4$ - 0,2...1,2; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ – 2...8; HCl - 0,5...2,0. Зносостійкість отриманих покриттів в 2,14 разу вище за зносостійкість електролітичного заліза і в 1,70 разу сталі 45.

Однак молібден є досить дорогостоящим елементом. У металургійних сплавах для заміни нікелю і молібдена використовується переважений бор, тому нами було обрано легування саме бором. Введення бора в електролітичну осадку заліза надає йому особливі фізико-механічні властивості, відмінні від властивості металургійного сплаву. Відомо, що отримання залізоборидного покриття можливе з сульфатних або хлоридних електролітів.

Проведений порівняльний аналіз сульфатних і хлоридних електролітів свідчить про те, що з сульфатного електроліту можна отримати сплав з великим змістом бору. Після термічної обробки отриманого сплаву мікротвердість також підвищується, що пов'язано з великим змістом бору в покритті. Таким чином, після термообробки в покритті утворюються тверді речовини - борид заліза. Проте з сульфатних електролітів покриття нарощується з меншою швидкістю, ніж з хлоридних. Також з хлоридних електролітів можна отримати залізоборидний сплав, що має яскравіше виражені фізико-механічні властивості і більшу товщину.

Літературний огляд і пошукові дослідження дозволяють зробити висновок про те, що при використанні як боровмісної добавки декагідроборату натрію можливе отримання покриття, що містить до 2% бору і досить міцно пов'язаного з основою. При вмісті в електроліті $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ вище 1,5 кг/м³ поверхня покриття чорніє, а при більш ніж 4 кг/м³ – покривається пухким чорним осадом. Виходячи з цього, оптимальним є вміст $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ – 1,0–1,2 кг/м³.

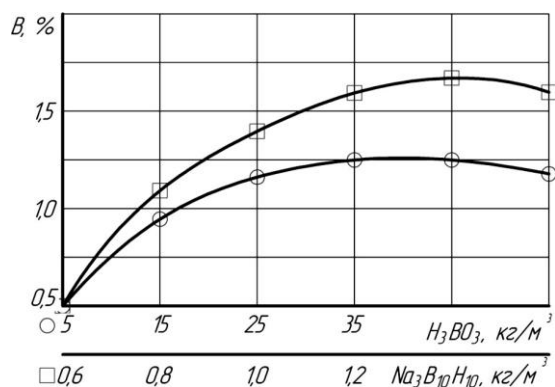


Рисунок 1.2. Вибір боровмісної добавки

В ході подальших досліджень нами було встановлено, що отримати більший зміст бору в обложеному покритті можна, якщо використати комплексоутворюючу добавку. В якості останньої нами вибрана лимонна кислота ($C_6H_8O_7$), оскільки зі збільшенням концентрації лимонної кислоти в електроліті від 1 до 5 кг/м³ в покритті зростає зміст бору (~2,5%), що також призводить до стабілізації бору в покритті. Проте подальше збільшення концентрації $C_6H_8O_7$ не сприяє підвищенню змісту бору, а якість покриттів помітно знижується.

Проте усе вищесказане не вирішує задачі збільшення зносостійкості залізоборидного покриття. Подальше можливе збільшення зносостійкості пов'язане з хіміко- термічною обробкою отриманого сплаву.

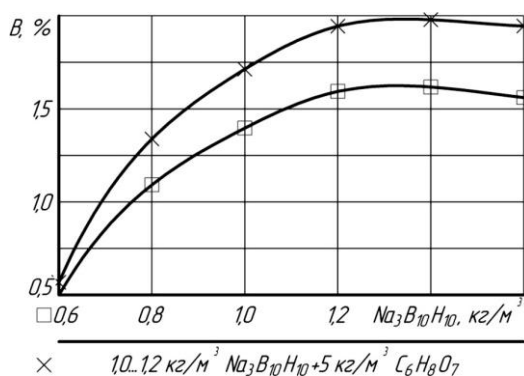


Рисунок 1.3. Вплив комплексоутворюючої добавки

1.5 Термічні і хіміко-термічні способи зміцнення залізних покриттів

Як відомо [48], термічна обробка електроосаджених залізних покриттів не призводить до великого підвищення мікротвердості, а також знижує втомну міцність покриття.

На думку вчених, фізико-механічні властивості електроосажденного покриття можуть бути підвищені цементацією.

За результатами досліджень [18] виявилось, що найбільш цілеспрямовано піддавати цементації м'які покриття, які можна отримати з електролітів з високою концентрацією солі заліза ($600\text{--}650 \text{ кг/м}^3 \text{ Fe Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), а також за високої температури електроліту ($\sim 90^\circ\text{C}$) і малої щільності струму ($1,0\text{--}1,5 \text{ кА/дм}^2$). У авторефераті дисертації [50] встановлено, що електролітичне залізо, зміцнене цементацією, добре працює в умовах окислювального зносу. В. Г. Савін зв'язує це з освітою в покритті гідроокису заліза, із-за якої поверхня при терті окислюється. Таким чином, можна зробити висновок про те, що цементація електроосажденного заліза приводить до підвищення міцності відновлених деталей. Проте після цементації в цементованому шарі покриття мають залишкову напругу, величина якої залежить від режимів термічної обробки.

У авторефераті дисертації [52] розглянуто в якості зміцнення електроосажденного залізного покриття азотування. Процес зміцнення проводився в суміші NH_3 з $50\text{--}70\% \text{ ZH}_8$. Отримані покриття мали мікротвердість до $5900\text{--}6150 \text{ МПа}$. Зносостійкість покриттів зросла в 2-4 рази (сухе тертя), а межа витривалості підвищилася майже в 2 рази.

Підвищення мікротвердості електроосаджених покриттів спостерігалось при обробці ціануванням. У статті [55] розглянуто ціанування електролітичних покриттів з нагрівом СВЧ. Покриття було отримане з гарячих хлористих електролітів. Температура ціанування - 1000°C . Спочатку твердість покриття складала $2360\text{--}2680 \text{ МПа}$, після зміцнення твердість підвищилася до 8500 МПа , зносостійкість зросла в 2,6 рази.

Проте розглянуті методи зміцнення електроосаджених покриттів не дозволяють значною мірою підвищити мікротвердість і зносостійкість, також цим процесам властива низька технологічність.

Визначений інтерес викликає можливість отримання борідних шарів. Так, в роботах [26,36] розглянуто формування зносостійких шарів на неборируваних сталях і сплавах. Дослідження показали, що можна отримати дифузійні шари FeB і Fe_2B , мікротвердість яких досягає $14000\text{--}16000 \text{ МПа}$.

Глибина дифузійного шару залежить від товщини залізного шару. З вищесказаного виходить, що жоден з представлених методів не підвищує твердість покриття вище 11000 МПа, виключенням є лише борирование.

Отже, найбільш ефективним способом підвищення експлуатаційних властивостей буде низькотемпературне ціанування. Як ми вважаємо, така обробка сприяє отриманню в поверхневому шарі твердих і надтвердих часток, які дозволять досягти значного збільшення зносостійкості покриттів.

1.6 Номенклатура деталей, що вимагають відновлення зміцненням електролітичним залізом

Застосування електролітичного сплаву залізо - бор дозволить відновлювати деталі, виготовлені з легованих сталей, які складно відновлювати методами дифузійної металізації.

Розроблена технологія, на наше думання, дозволить відновити деталі сільськогосподарської техніки, розмір яких змінюється від 0,01.1,0 і більше мм на циліндричних поверхнях діаметром 50.200 мм. Передбачається отримання міцних залізоборідних покриттів, наявних необхідної товщини. Після ціанування при температурі 500°C покриття будуть мати високі експлуатаційні властивості. Цей метод відновлення можна використати для відновлення і зміцнення поясоків золотників гідророзподільників Р- 80.

Ця деталь (і її модифікації) є найбільш поширеною і широко вживаною в сільськогосподарській техніці.

Окрім золотників гідророзподільника під пропоновану технологію підходять деталі підвісок імпорتنих і вітчизняних вантажних автомобілів, шкворені поворотних кулаків, деталі двигуна (відновлюються поверхні під вкладиші на шатунах), деталі гідроприводу коробок передач тракторів : гільза гідророзподільника, вторинний вал, кільце ущільнювача.

Для перерахованих деталей нині найбільш поширеним способом відновлення є хромування або заміна на нову деталь. Вважаємо, що застосування електролітичного покриття залізо - бор з подальшою хіміко-термічною обробкою при температурі 400-600°C дозволить відновити ремонтний фонд і підвищити термін служби деталей.

1.7 Висновки. Напрями дослідження

1. Для відновлення деталей сільськогосподарської техніки можна застосовувати електроосаджене залізо.
2. Електроосаджені сплави мають більш високі фізико-механічні властивості в порівнянні з електролітичним чистим залізом.
3. Застосування нестационарних умов електролізу (асиметричний струм) дозволяє збільшити швидкість осадження, а також отримувати покриття з високим вмістом легуючих елементів, слідством чого являється підвищення мікротвердості і зносостійкості порівняно із стаціонарними умовами електролізу.
4. Застосування хіміко-термічної обробки дозволить значно збільшити твердість і зносостійкість електроосаджених покриттів.

Для залізних покриттів, що широко застосовуються для відновлення деталей машин, зносостійкість є дуже важливою та складною експлуатаційною характеристикою. Відомо, що вона в основному залежить від структури металу, тому особливий інтерес становлять практично всі параметри електролізу, що впливають на структуроутворення при електроосадженні.

Аналіз літературних джерел виявив, що структура електроосаджених покриттів в основному залежить від наступних факторів:

- концентрації хлориду заліза (в електроліті в межах 200-400 кг/м³;
- концентрації легуючого компонента в електроліті (у нашому разі декагідроборату натрію ($\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$)) в межах 0,6–1,4;
- кислотності електроліту (pH) у межах 0,8-1,2;
- катодної щільності струму, (Дк) в межах 20-60А/дм²;
- коефіцієнта асиметрії (β) в межах 2-6.

2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Методика нанесення покриттів

Для залізних покриттів, що широко застосовуються для відновлення деталей машин, зносостійкість є дуже важливою і складною експлуатаційною характеристикою. Відомо, що вона в основному залежить від структури металу, тому особливий інтерес представляють практично усі параметри електролізу, що роблять вплив на структуроутворення при електроосажденні.

Аналіз літературних джерел виявив, що структура електроосаджених покриттів в основному залежить від наступних чинників:

- концентрації хлориду заліза ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) в електроліті в межах 2000-400 кг/м³;
- концентрації легуючого компонента в електроліті (в нашому випадку декагидробората натрію ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{H}_{10}$) в межах 0,6...1,4кг/м³;
- кислотності електроліту (рН) в межах 0,8...1,2;
- катодній щільності струму, А/дм² (Дк) в межах 20...60;
- коефіцієнта асиметрії (β) в межах 2...6.

Дослідження процесу отримання железоборидных покриттів, а також вивчення їх фізико-механічних властивостей проводилося за методикою послідовного виявлення найбільш оптимальних параметрів. Як говорилося раніше, практично кожен показник електролізу робить те або інший вплив на властивості отримуваних покриттів, але перевірити емпіричним шляхом усі поєднання цих параметрів у більшості випадків практично неможливо зважаючи на їх велику кількість. У подібних випадках найбільш раціональним є застосування планування експериментів.

Множинну кореляцію найчастіше описують у вигляді суми лінійних функцій від ряду первинних чинників. Коефіцієнти регресії в подібних випадках знаходять методом найменших квадратів. Проте, ґрунтуючись на досвіді багатьох дослідників, можна дійти висновку, що в гальванотехніці основними є нелінійні залежності, з цієї причини використання лінійного моделювання процесу вважаємо недоцільним.

У роботі [55] пропонується використати якомога більше даних за різноманітних умов і розбивати їх по групах, які компонують по значеннях вибраного чинника, інші чинники потрапляють в групи безладно. Завдяки цьому усі інші чинники урівноважуються (при усереднюванні). З вищесказаного виходить, що результати залежать в основному від одного чинника, оскільки значення інших - середні, подібне спрощення дістало назву метод випадкового балансу.

Другу приватну залежність можна знайти шляхом розбивання початкових даних на групи за значимістю іншого чинника, потім третю і так далі. Основою цієї методики є ідея латинського квадрата, яка дозволяє скоротити кількість експериментів і при цьому отримати цілком задовільну по точності формулу. Електроосадження Fe–В сплавів велося з електроліту наступного складу: хлорид заліза 350–400 кг/м³, кислота соляна 1,0–1,5 кг/м³, кислота лимонна 4,0–5,0 кг/м³, декагідроборат натрію 1, 0–1,2 кг/м³. Режим електролізу: $D_k = 25\text{--}35 \text{ А/дм}^2$, $\beta = 5\text{--}6$, $t = 20\text{--}40^\circ\text{C}$, рН 0,8–1,2. Для нанесення покриття використовували зразки, виготовлені з маловуглецевої сталі розміром 25 × 25 мм. Для підтримки необхідного рівня електроліту у ванну доливали дистильовану воду з додаванням соляної кислоти. Аноди виготовлялися з маловуглецевої сталі 20. Перед початком процесу електроосадження необхідно:

- зачистити аноди до металевого блиску;
- знежирити аноди віденським вапном;
- промити їх в гарячій воді і протравити впродовж 1-2 хвилин в розчині HCl (20 % розчин);
- завісити в робочу ванну безпосередньо перед початком процесу.

Для запобігання засміченню електроліту аноди обертали в кислотостійку тканину. Покриття осаджували на плоскі зразки і зразки циліндричної форми. Зразки перед покриттям знежирювалися. Перед анодним травленням в 30 % розчині сірчаної кислоти з додаванням 15-20 кг/м³ сірчаноокислого заліза зразки зважувалися і знежирювалися віденським вапном. Час травлення складає від 1 до 2-х хвилин, щільність струму травлення - від 30 до 70 А/дм².

Потім зразки промивалися проточною водою, завішувалися підвіси і занурювалися в гальванічну ванну. Електроосадження сплавів Fe - В робилося на асиметричному змінному струмі. Для отримання такого струму була використана установка, принципова електрична схема якої представлена на рис. 2.3. Ця схема дозволяє розділити струми протилежних напрямів за допомогою регульованих діодів (V1 і V2), а також регулювати амплітуду напівперіодів за допомогою двох реостатів (R1 і R2).

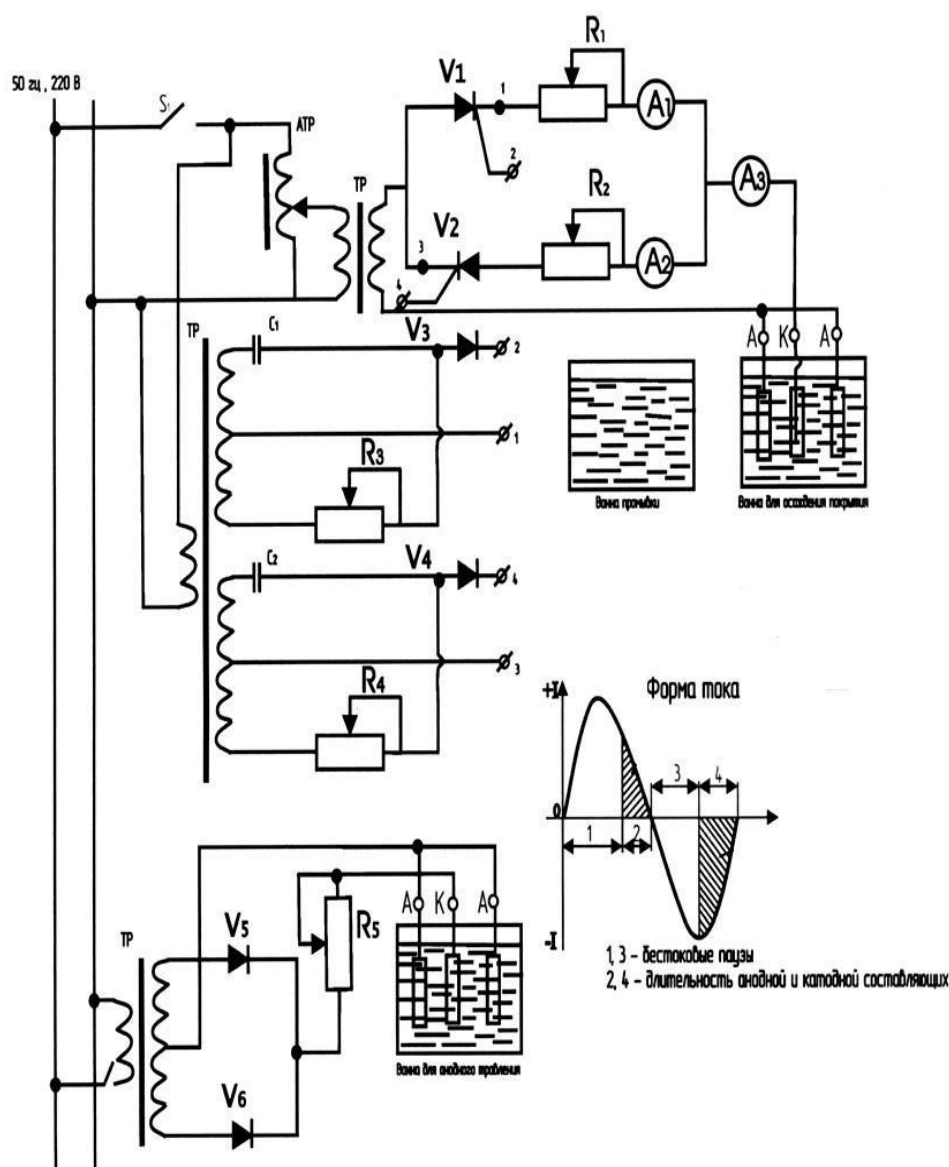


Рисунок 2.1. Схема експериментальної установки

Технологія отримання електролітичних залізоборидних покриттів, використана в справжній роботі, представлена на малюнку 3.2.



Рисунок 2.2. Технологія отримання електролітичних покриттів

2.2 Методика дослідження покриття

Отримавши покриття, визначили зміст легуючого елементу в сплаві, що вийшов. Для цього застосовували метод потенціометра, суть якого полягала в наступному : навішування покриття поміщали в конічну колбу на 250 мл, потім підливали 40 мл HCl . Після цього колбу нагрівали до повного розчинення навішування, додавали 10-20 мл 3% -ного розчину H_2O_2 , і кип'ятили впродовж 10 хвилин. Розчин переносили в колбу на 500 мл, розбавляли H_2O до 300-400 мл, підливали 5 міль/л NaOH до випадання гідроокисів в осад і доливали 20-40 мл в надлишок. Частково розчин фільтрували в суху колбу, відкидаючи першу порцію фільтрату. У склянку (400 мл) поміщали 250 мл фільтрату, підливали розчин HCl (1:1) до зміни забарвлення індикатора (в даному випадку метилового помаранчевого) і додавали 5 мл розчину $10\text{H}14\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8$ (0,01 міль/л). Вміст склянки кип'ятили впродовж 3-5 хвилин і охолоджували.

Дослідження мікроструктури сплаву Fe-V проводили на поперечних шліфах з використанням мікроскопа МІМ-8М. Для цього кожен зразок обробляли торцевою поверхнею шліфувальним кругом, потім шліфувальним папером. Останнім видом обробки було шліфування на полірувальних колах із застосуванням алмазних паст. Після шліфування полірували фетром, рясно змоченим дистильованою водою, до чистоти поверхні 12–14 класу.

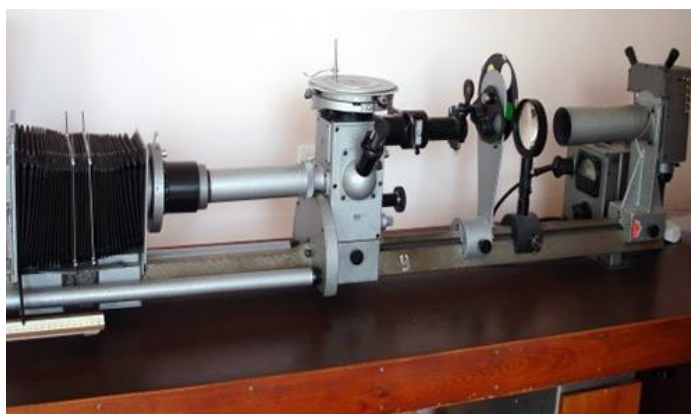


Рисунок 2.3. Металографічний мікроскоп МІМ-8М

Мікротвердість залізоборидних покриттів визначали з використанням приладу ПМТ- 3 .

Для того, щоб виключити вплив підкладки на твердість покриття,

мікротвердість вимірювалася на поперечних шліфах в центрі шару покриття. У цьому місці робили 3 уколи.



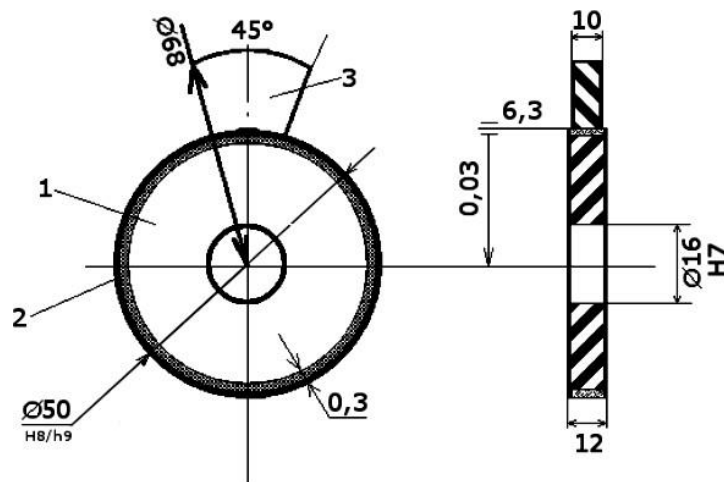
Рисунок 2.4. Твердомір ПМТ–3

Відривом штифта від покриття нормально прикладеною силою визначалася міцність зчеплення покриття з основним металом.

Відновлені електролітичними покриттями деталі машин працюють в основному в умовах граничного тертя, тому зносостійкість легованих залізних покриттів визначали на машині тертя СМЦ- 2, відтворюючій ці умови [66].

Для проведення випробувань на цій машині використовувалися 2 схеми налаштування зразків : схема «ролик - колодка» і «ролик - ролик», які охоплюють практично усі можливі варіанти тертя в сполученнях реальних машин.

В якості зразків при налаштуванні «ролик - колодка» використовувалися ролики діаметром 50 мм, на поверхню яких наносилося покриття Fe -В. Товщина покриття після шліфування в усіх випадках складала 0,3 мм. Колодки виготовлялися із сталі 45 і піддавалися загартуванню на твердість HRC 48-50.



1 – ролик; 2 - електролітичне залізне покриття; 3 - колодка (контртіло)

Рисунок 2.5. Схема налаштування і зразки для випробування електролітичних покриттів на зношування при терті ковзання

Частота обертання ролика складала 1000 хв^{-1} , зусилля притиснення колодки забезпечувалося навантажуючим облаштуванням машини і могло складати максимально 10 МПа. У зону тертя подавалася мінеральна олія, у ряді експериментів в олію додавався дрібний абразив (до 15 г/л) - розмолотий кварцевий пісок. Також серія дослідів була проведена без мастила для визначення здатності покриття чинити опір схоплюванню.

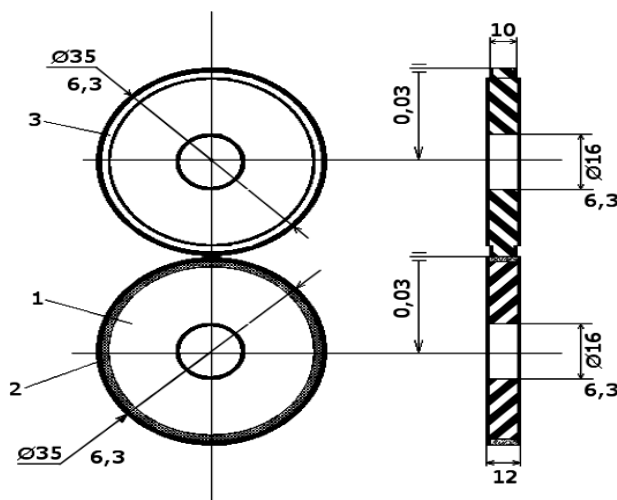
Знос покриттів визначали ваговим методом.

Стійкість покриттів до схоплювання і заїдання при терті без мастила визначали за схемою «ролик - колодка», для цього поступово збільшували тиск на колодку, поки не виникало схоплювання. Початок цього процесу визначався виникненням смуг задиру на поверхні зразка. Закінченням випробувань служила поява характерного вібруючого звуку.

При налаштуванні машини за схемою «ролик - ролик» (рис. 3.6) електролітичні покриття випробовувалися на зношування при терті кочення з прослизанням.

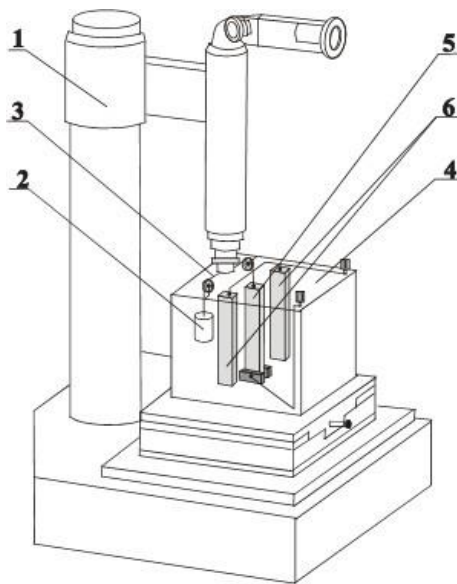
Ролик з нанесеним на його поверхню покриттям встановлювався на основний шпиндель машини і крутився з частотою 1000 хв^{-1} , контрролик поміщався на доповнільний шпиндель машини, який крутився з частотою 800 хв^{-1} , що відповідає прослизання 20 %. При випробуванні ролики притискалися до другого

навантажувальним пристроєм машини. В зону тертя подавалося змащення, сума визначилася ваговим методом.



1 – зразок (ролик); 2 – електроосаджене покриття; 3 – контролик

Рисунок 2.6. Схема налаштування і розміри зразків для машини СМЦ-2 при випробуванні електроосаджених покриттів в умовах тертя



1 – мікротвердомер ПМТ-3; 2 - попередній вантаж - натяжитель; 3 - мідний дріт діаметром 0,10 мм; 4 - електролітичний осередок; 5 – стрічковий катод; 6 - анод

Рисунок 2.7. Установка для виміру внутрішньої напруги в покриттях

Втомна міцність зразків з залізоборидними покриттями визначалася на установці УКИ-10М.

Зразки виготовлялися з конструкційної покращеної сталі 45, з якої зазвичай роблять деталі, працюючі при знакозмінних навантаженнях.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У даній главі нами поставлені наступні завдання:

- вивчити вплив складу хлоридного електроліту і параметрів електролізу на якість опадів сплаву Fe - В;
- виявити закономірності впливу складу електроліту на хімічний склад отриманого покриття;
- встановити залежність фізико-механічних властивостей отримуваних покриттів від складу електроліту;
- вивчити вплив ціанування на фізико-механічні властивості сплаву Fe - В.

3.1 Визначення режимів електролізу

Електроосадження проводилося з електролітів, що містять наступні компоненти, кг/м³ :

Хлорид заліза $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	350–400
Кислота соляна HCl	1,0–1,5
Кислота лимонна $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	4–5
Декагидроборат натрію $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$	1,0–1,2

Параметри електролізу : $D_k=25-35$ А/дм²; $\beta=5-6$; pH=1,2-0,8, температура електроліту кімнатна.

Як вже говорилося вище, ми застосовували методику раціонального планування експериментів. Нами були побудовані діаграми, якими визначаються області отримання якісних опадів з відсутньою сіткою тріщин залежно від концентрації $\text{Fe Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, концентрації $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$, коефіцієнта асиметрії, pH і температури електроліту.

Область між кривими АВ і CD визначає отримання поверхонь з матовою бархатистою поверхнею сріблястого тону без ознак тріщин. Збільшення Д призводить до отримання тріщинуватих опадів

зменшення - до збільшення долі струму, що доводиться на виділення водню.
У області нижче CD виділяється тільки водень, а осадження покриття практично не відбувається. Зі збільшенням концентрації $\text{Fe Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в електроліті допустиме значення Д зменшується.

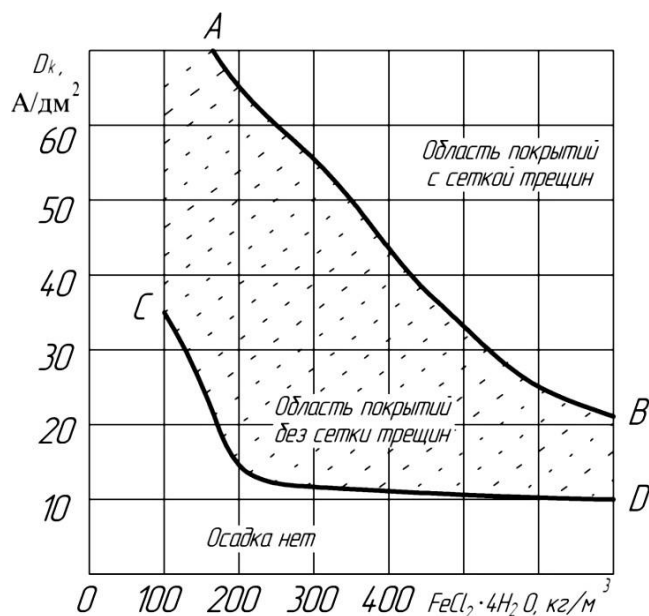


Рисунок 3.1. Діаграма залежності якості покриттів від катодної щільності струму і концентрації хлориду заліза в електроліті

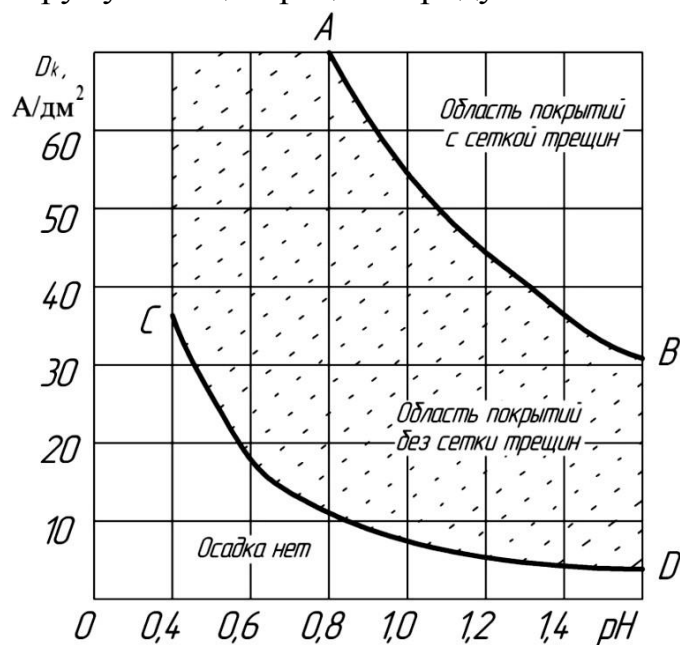


Рисунок 3.2. Діаграма залежності якості покриттів від катодної щільності струму і кислотності електроліту

Витримка рН в певному діапазоні - одна з найважливіших умов ведення процесу електроосадження сплаву Fe - В. Оптимального значення рН досліджуваного електроліту набуваємо 0,8- 1,2, оскільки при меншому значенні аноди розчиняються занадто інтенсивно.

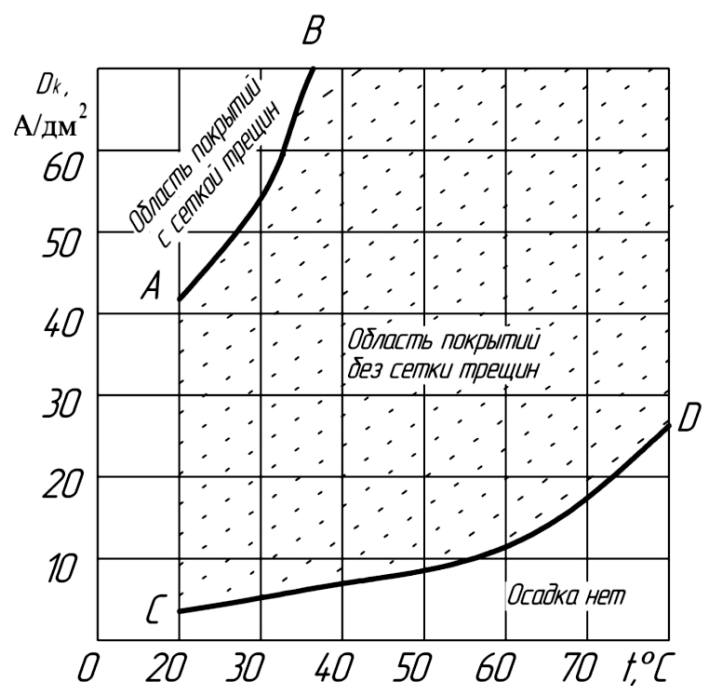


Рисунок 3.3. Діаграма залежності якості покриттів від катодної щільності струму і температури електроліту

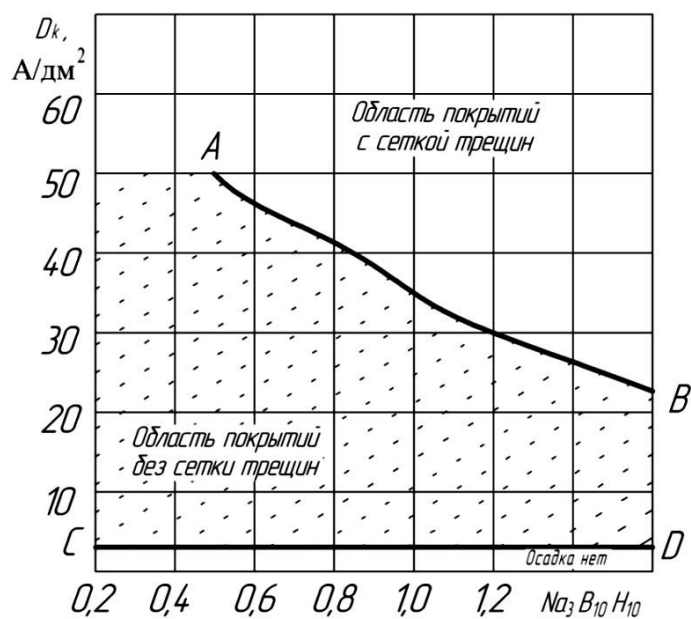


Рисунок 3.4. Діаграма залежності якості опадів від катодної щільності струму і концентрації декагідробората натрію

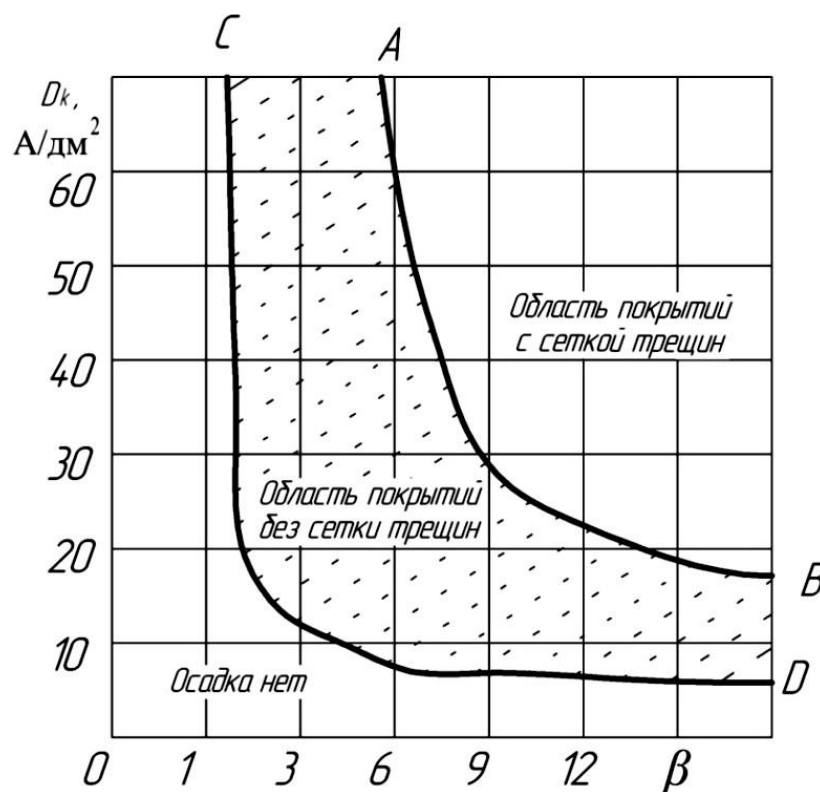


Рисунок 3.5. Діаграма залежності якості покриттів від катодної щільності струму і коефіцієнта асиметрії

Декагідроборат натрію, будучи борсодержащим компонентом, також робить істотний вплив на якість отримуваних опадів. Найбільш прийнятні результати отримані при концентрації $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ 1,0- 1,2 кг/м³.

Коефіцієнт асиметрії і катодна щільність струму впливають на якість електроосаджених покриттів таким чином: при $\beta=5-6$, а $D_k=25-35 \text{ A/дм}^2$ були отримані найбільш якісні опади, при низьких значеннях цих параметрів покриття не осідало, а на катоді виділявся водень.

Виходячи з отриманих даних по дослідженню якості покриття від умов електроосадження можна виділити наступні інтервали варіювання параметрів електролізу : концентрація декагідробората натрію ($\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$) - 0,6-1,4 кг/м³, катодна щільність струму - $D_k=20-60 \text{ A/дм}^2$, коефіцієнт асиметрії струму - $\beta=2-6$.

Дослідженні змісту бору і фізико-механічних властивостей залізоборидних покриттів представлені в таблиці 3.1 і на рис. 3.6.

Таблиця 3.1 Значень змінних при плануванні експерименту

Найменування параметрів електролізу	1	2	3	4	5
Концентрація декагидробората натрію ($\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$), кг/м ³	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Катодна щільність струму D_k , А/дм ²	20	30	40	50	60
Коефіцієнт асиметрії струму (β)	2	3	4	5	6

3.2 Результати досліджень вмісту бору в залізоборидних покриттях

За результатами досліджень були виявлені наступні закономірності.

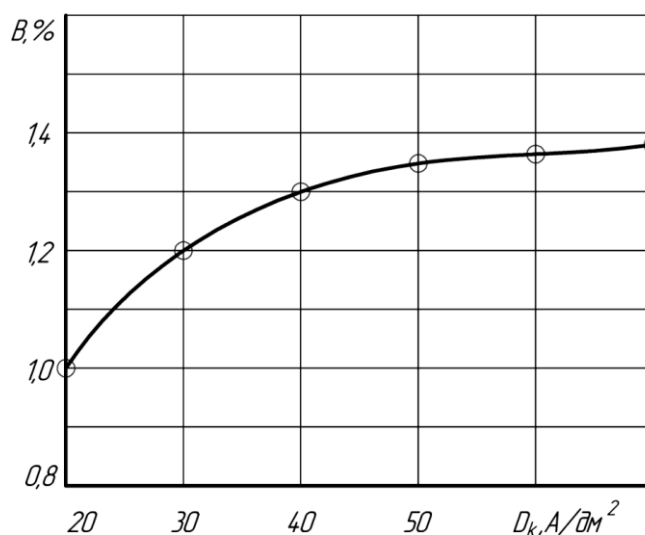


Рисунок 3.7. Залежність змісту бору в покритті (%) від катодної щільності струму (А/дм²)

Ця залежність показує, що підвищення катодної щільності струму приводить до збільшення змісту бору в покритті. Це пояснюється тим, що при підвищенні D рух іонів до катода посилюється, а доля хімічної реакції навпаки знижується. При високих значеннях D B поступає в осад в основному як механічна домішка.

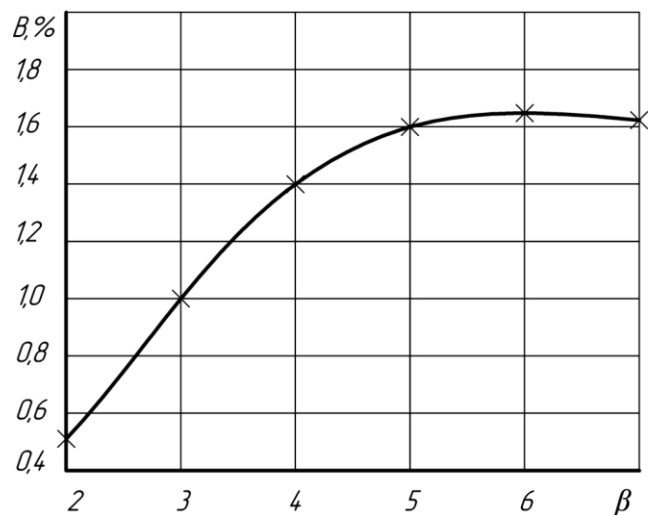


Рисунок 3.8. Залежність змісту бору в покритті (%) від коефіцієнта асиметрії

Коефіцієнт асиметрії струму робить наступний вплив: зменшення анодної складової веде до збільшення швидкості осадження, отже, зростає кількість іонів борсодержащей добавки на катоді. Дослідження структури отриманих покриттів показали, що підвищення коефіцієнта асиметрії значною мірою змізерніє мікроструктуру, що, у свою чергу, веде до підвищення механічних властивостей покриття.

Значення коефіцієнта асиметрії від 1 до 3 дозволяють бору потрапити в осад в основному хімічним шляхом, підвищення ж значень від 4 до 6 сприяють впровадженню бору в кристалічну решітку заліза механічним захопленням, і відповідно частки бору є у такому разі механічними включеннями.

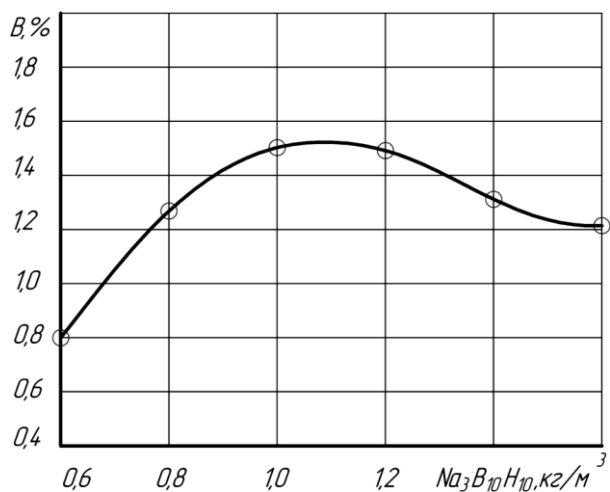
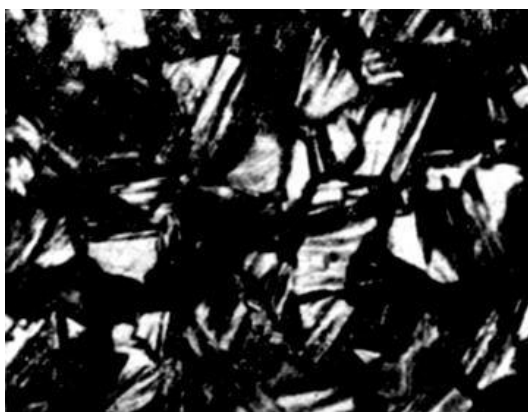


Рисунок 3.9. Залежність змісту В в електроосадженому Fe - В покритті від концентрації $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$

Збільшення змісту в електроліті $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ призводить до збільшення змісту В в отриманому осаді.



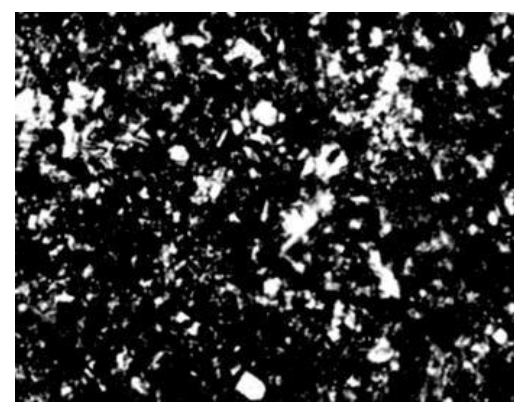
Fe-0,25%B



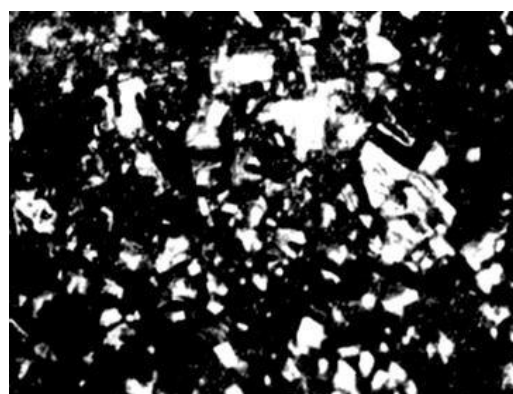
Fe-1,0%B



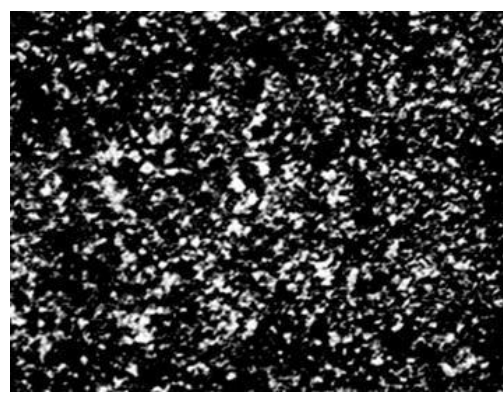
Fe-0,5%B



Fe-1,25%B



Fe-0,7%B



Fe-1,5%B

Рисунок 3.10. Залежність мікроструктури покриттів від змісту бору ($\times 3000$)

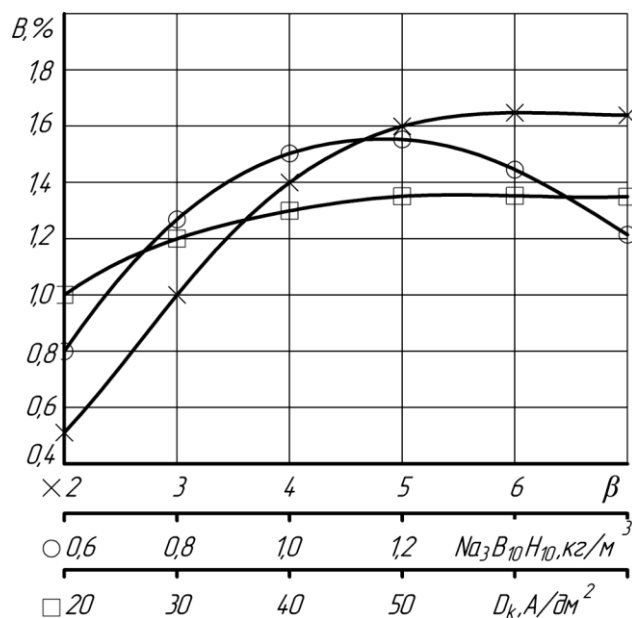


Рисунок 3.11. Залежність вмісту бору в залізоборидному покритті від показників електролізу

3.3 Результати досліджень мікротвердості залізоборидних покриттів

Мікротвердість електролітичних опадів є основною характеристикою їх фізико-механічних властивостей. На мікротвердість електролітичного заліза великий вплив роблять такі умови електролізу, як концентрація солі заліза в електроліті, температура електролізу і щільність струму.

Для проведення дослідів використовувався вищеназваний електроліт, в який вводилися різні кількості декагідробората натрію. В результаті експериментів були отримані залежності мікротвердості залізоборидних покриттів від концентрації декагідробората натрію, від катодної щільності струму і від коефіцієнта асиметрії.

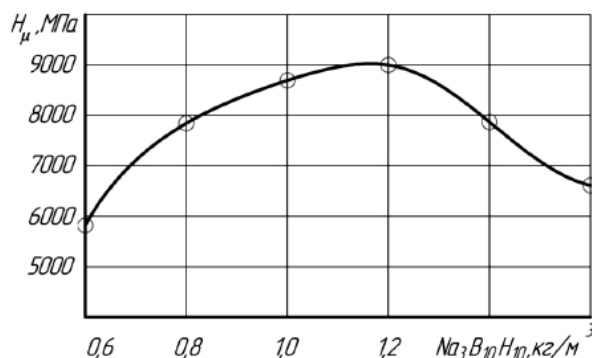


Рисунок 3.12. Залежність мікротвердості від концентрації декагідробората натрію

Збільшення вмісту $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ в електроліті від 0,5 кг/м³ до 1,2 кг/м³ призводить до збільшення ймовірності утворення твердого розчину внаслідок відновлення іонів до елементарного бору [60], що призводить до підвищення мікротвердості та внутрішніх напруг. Підтвердженням цього може бути перебіг кривої залежності мікротвердості осаду від концентрації $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$.

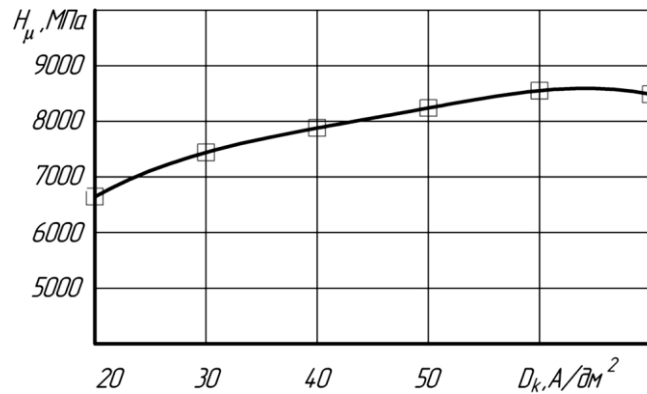


Рисунок 3.13. Залежність мікротвердості від катодної щільності струму

Збільшення катодної щільності струму призводить до збільшення значень мікротвердості покриттів.

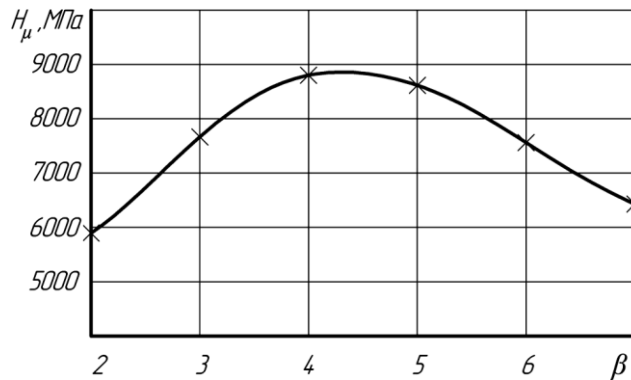


Рисунок 3.14. Залежність мікротвердості від коефіцієнта асиметрії

Низькі значення β призводять до утворення м'яких, малонапружених осадів, які досить міцно зчеплені з основою і мають великокристалічну структуру. Зміст легуючого елементу в таких осіданнях невеликий. Високі значення β призводять до попадання бору в осад не лише хімічним, але і механічним шляхом (захоплення іонами заліза), що призводить до росту мікротвердості і внутрішньої напруги.

3.4 Вплив умов електролізу на зчіплюваність залізоборидних покриттів з основним металом

Деталі сільськогосподарської техніки, що поступають на відновлення, мають різні механічні ушкодження робочих поверхонь (риски, вм'ятини, мікротріщини та ін.). В результаті зносу геометрична форма деталей також спотворюється: виникає овальність, конусність, погнутість. Крім того, змінюється і фізичний стан поверхневих шарів металу деталей під впливом теплових і різних фізико-хімічних процесів, що з'являються при зношуванні.

Зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів деталей відбуваються в субмікроскопічних, мікроскопічних і макроскопічних об'ємах металу, тобто в шарах, що не перевищують по глибині десятих доль міліметра.

Умови утворення електролітичних покриттів і природа їх зв'язку з основним металом сприятливіші відносно міцності зчеплення, чим при металізації. І при цих видах покриттів відома шорсткість поверхні деталі має значення в підвищенні міцності зчеплення за рахунок механічного закріплення осаду. По дослідженнях Ю.Н. Петрова, найбільша міцність зчеплення опадів заліза виходить при шорсткості поверхні деталі катода 10-20 мкм, що відповідає чистовому шліфуванню. При великих нерівностях поверхні деталі міцність зчеплення знижується унаслідок зменшення контактної поверхні із-за часткового екранування глибоких западин поверхні катода. Проте шорсткість поверхні лише сприяє підвищенню зв'язку між деталлю і покриттям, що не має міцного зчеплення. Механічний зв'язок не може порівнятися з атомним зв'язком і замінити її. Утворення електролітичного покриття на катоді виходить в результаті процесу кристалізації.

В процесі осадження металів на катоді катіони, що знаходяться біля катода або наближаються до нього, електростатично притягуються катодними ділянками поверхні, насиченими електронами.

З'єднуючись з електронами, катіони нейтралізуються, осідають на катодних ділянках, входячи в кристалічну решітку. Розряд іонів (катіонів) протікає не на усіх ділянках з однаковою легкістю. Первинне виділення металу і ріст кристалів відбувається нерівномірно по усій поверхні зростаючої грані

кристала, а лише по активних її місцях - вершинах кутів і ребрах, на яких і відбувається первинне виділення осаду металу, що утворює новий шар. Кути і грані кристалів нового шару є активними ділянками, на яких осідає подальший новий шар, що поширюється по усій поверхні грані.

Шорсткість поверхні основного металу підвищує міцність зчеплення, проте нерівності не повинні перевищувати 10-20 мкм, оскільки при великих нерівностях відбувається екранування глибоких западин поверхні катода, що призводить до зменшення контактної поверхні.

Міцний зв'язок опадів з основою можливий лише при повному видаленні плівок оксидів з поверхні катода. Ці плівки завжди є присутніми на поверхні більшості металів. Також для міцного зчеплення треба щоб перші шари покриття були досить м'якими і ненапруженими.

Залежність міцності зчеплення від показників електролізу представлена на графіках.

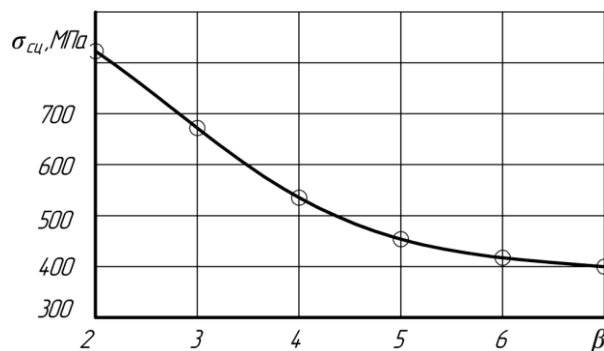


Рисунок 3.15. Залежність міцності зчеплення від показника асиметрії

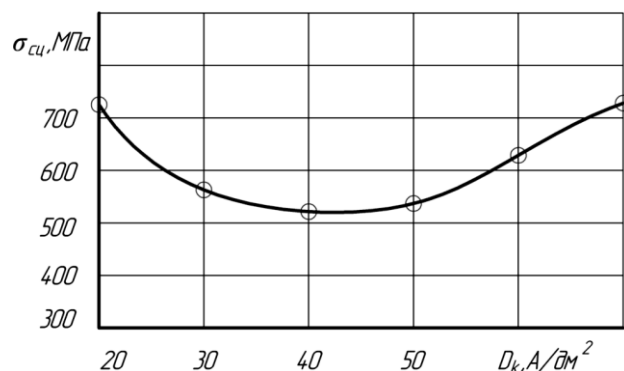


Рисунок 3.16. Залежність міцності зчеплення від катодної щільності струму

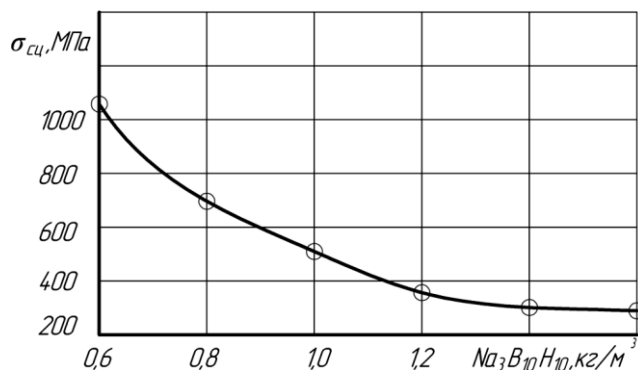


Рисунок 3.17. Залежність міцності зчеплення від концентрації декагідробората натрію

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок про те, що високі значення щільності струму і показника асиметрії, тобто так званий жорсткий режим, показують мінімальні значення міцності зчеплення. Тому, щоб забезпечити досить високу міцність зчеплення покриття з основою, необхідно поступово виводити параметри електролізу на робочі значення. При цьому можливі наступні варіанти:

1. Осадження починають при малому значенні D і оптимальному β .
2. Електроліз починають при низькому значенні β і робочому значенні D , поступово виводячи показники електролізу до робочих значень.
3. Процес отримання покриття починають при низьких показниках і β і D , надалі поступово збільшуючи їх до робочих значень.

Перший варіант не прийнятний, оскільки малі значення D і високі β призводять до отримання твердих крихких покриттів зі зниженою міцністю зчеплення.

Другий варіант підходить більшою мірою, проте робоча щільність струму не дозволяє отримати задовільного зчеплення покриття з основою.

У останньому випадку створюються найбільш сприятливі умови для отримання покриття з достатньою міцністю зчеплення.

З аналізу графіків виходить, що усі чинники, що знижують поляризацію катода, ведуть до поліпшення зчіплюваності покриттів. Це пов'язано, мабуть, з тим, що при підвищенні поляризації катода забезпечується підвищена твердість і крихкість шару, прилеглого до основного металу.

Отримані залежності виражені графічно (рис. 3.18).

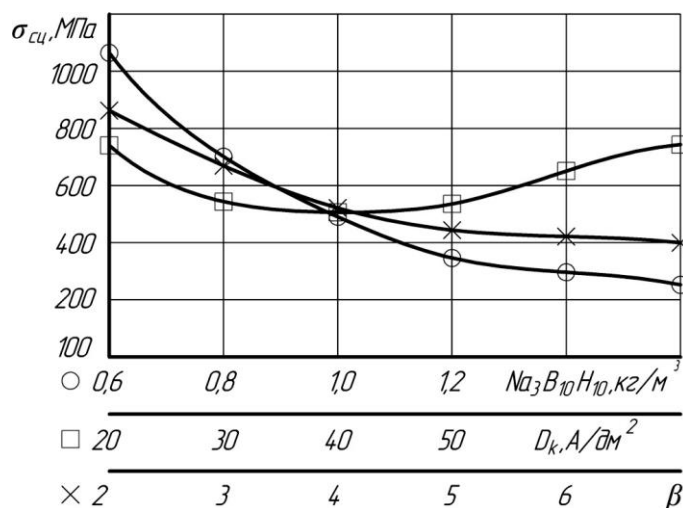


Рисунок 3.18. Залежність міцності зчеплення від параметрів електролізу

3.5 Дослідження внутрішньої напруги в легованих залізних покриттях

Внутрішня напруга властива усім електролітичним покриттям. Вивчення цього питання має найважливіше практичне значення: під впливом внутрішньої напруги відбувається розтріскування і відшаровування покриттів, зниження втомної міцності і інші небажані наслідки.

Деякі учені припускають, що внутрішня напруга може виникати під дією водню, розчиненого в металі. Водень, на їх думку, потрапляє в осад в результаті розкладання гідридів металу, а також із-за сторонніх включень великих часток. Такої теорії дотримуються, наприклад, Х. Дентнер і І. Эльце.

Відомо, що на величину внутрішньої напруги робить вплив щільність струму. Зі збільшенням D внутрішня напруга значно збільшується (до 280 МПа), а отже спостерігається поява тріщин.

При високих значеннях D росте швидкість утворення центрів кристалізації, що сприяє збільшенню напруженого стану осаду в цілому. Також зростає швидкість освіти і включення в осад гідроокису, що призводить до підвищення внутрішньої напруги.

Підвищення змісту $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ в електроліті посилює внутрішню напругу в железоридном покритті. Якщо проаналізувати поведінку кривої залежності внутрішньої напруги від концентрації $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$, то можна

побачити що вона уповільнює свій ріст при значеннях 1,0-1,2 кг/м³. До росту внутрішньої напруги призводить впровадження в кристалічну решітку бору, що спотворює її будову і форму.

Значення коефіцієнта асиметрії в інтервалі $\beta=5\text{—}6$ призводить до максимальних значень внутрішніх напруг у сплаві, при цьому покриття мають підвищену мікротвердість і мають дрібнозернисту будову. Підвищене значення анодної складової сприяє формуванню крупнокристалічної структури покриття, а також розчинення гідроксиду. Покриття, отримані в таких умовах, мають низькі внутрішні напруги, низьку твердість, підвищену міцність зчеплення.

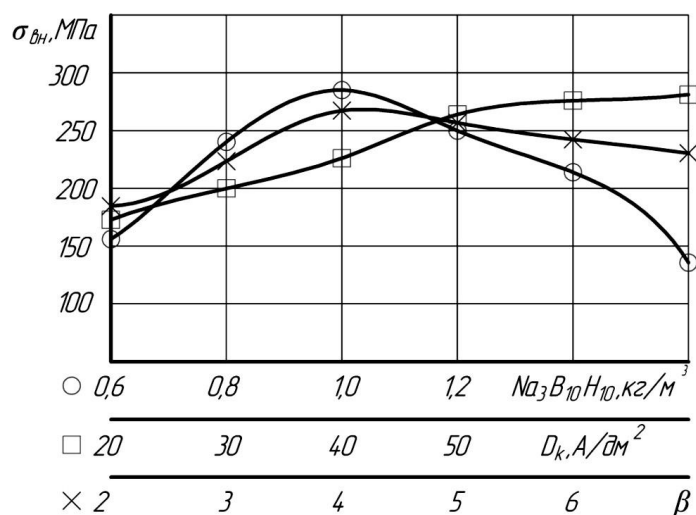


Рисунок 3.19. Залежність внутрішньої напруги від параметрів електролізу

3.6 Дослідження зносостійкості залізоборидних покриттів

Як вже вказувалося раніше, зносостійкість є найважливішою характеристикою покриття. Саме вона у більшості випадків визначає можливість і доцільність застосування отриманих покриттів для відновлення деталей сільськогосподарської техніки.

Величина зносу визначається чинниками, тісно пов'язаними з властивостями поверхонь : твердістю, втомною міцністю, здатністю поверхонь взаємодіяти з мастилами та ін. [70]

Широке використання для відновлення деталей сільськогосподарської техніки покриттів на основі заліза зумовлювала їх висока зносостійкість, яка

забезпечується їх швидкою окислюваністю на повітрі, а також освітою в процесі тертя субструктур на поверхнях. Окрім самих окисних плівок, на зносостійкість впливає структура покриттів : високій зносостійкості відповідає виражена текстура.

Як відомо, висока твердість призводить до збільшення зносостійкості, проте не завжди вірно стверджувати, що найбільш зносостійкі покриття мають найбільшу твердість [73]. У покриттях з підвищенням твердості зростають крихкість і внутрішня напруга, що не сприяє високій зносостійкості.

Був проведений експеримент по вивченню впливу режимів електролізу на зносостійкість покриття Fe - В. Осадження здійснювали з електроліту наступного складу : хлорид заліза 350 кг/м³, лимонна кислота 5 кг/м³, рН=1,2. У електроліт додавали різні кількості боровмісної добавки ($\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$) і осадження вели при різних значеннях D і β .

У ході дослідів було встановлено, що найбільший вплив на величину зносу покриття надавала концентрація $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$: підвищення концентрації $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ до номінальних значень зменшує знос покриття практично вдвічі. Однак збільшення вмісту $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ вище оптимальних значень призводить до зростання зносу покриття. Як ми вважаємо, такий вплив легування пов'язаний із зміною структури покриття та збільшенням його крихкості. Підвищеному зносу покриттів сприяє впровадження в контртіло частинок, що відхилилися, твердого покриття.

В результаті проведених дослідів, а також обробки даних нами були отримані раціональні значення показників електролізу : показник асиметрії $\beta=6,43$, катодна щільність струму $D_k=18$ А/дм² та концентрація декагідроборату натрію $\text{KNa B H}=1,07$ кг/м³.

3.7 Результати досліджень впливу режимів на глибину ціанування

Для дослідження впливу режимів ціанування на товщину дифузійних шарів Fe - В покриттів використовувалася паста на основі сажі.

Для виміру товщини ціанованого шару, а також глибини

карбонітридної зони на зразках, схильних до ціанування, готували мікрошліфи і досліджували їх за допомогою мікроскопа МИМ- 8.

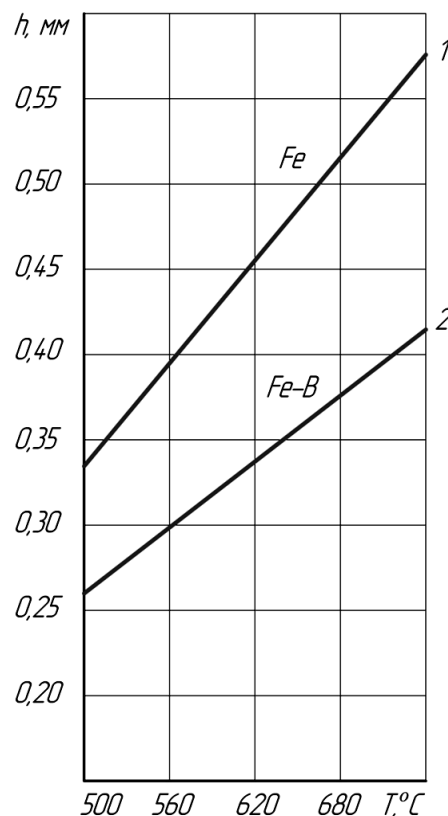
Експеримент проводили з використанням рототабельного планування другого порядку. В якості основних чинників були вибрані: x_1 - температура ціанування, x_2 - тривалість ціанування; критерії оптимізації : y_Z - товщина дифузійного шару на Fe - В покритті, y_{CN} - глибина карбонітридної зони в дифузійному шарі Fe – В сплав. В результаті обробки даних отримані рівняння регресії :

$$y_{40x}^Z = 0.33 + 0.04x_1 + 0.08x_2 + 0.02x_1 \cdot x_2 - 0.02x_2^2 . \quad (3.1)$$

$$y_{40x}^{CN} = 0.12 + 0.01x_1 + 0.03x_2 + 0.03x_1 \cdot x_2 - 0.03x_1^2 - 0.01x_2^2 . \quad (3.2)$$

Проаналізувавши показники, можна зробити висновок, що обидва чинники чинять значну дію на вихідний параметр.

Графічно ці залежності мають наступний вигляд (для наочності на графіках показані ті ж залежності для чистого електролітичного заліза) :



1 – електролітичне залізне покриття

2 – електролітичне залізоборидне покриття

Рисунок 3.20. Залежність товщини дифузійного шару від температури ціанування

Як бачимо, температура ціанування чинить прямо пропорційну дію на ріст дифузійного шару, причому на залезоборидном сплавi iнтенсивнiсть росту цього шару значно нижча. Це можна зв'язати з тим, що бор знижує коефіцієнт дифузії С і N.

Вплив температури ціанування на товщину карбонітридної зони має складніший характер. Що стосується чистого електролітичного заліза, те підвищення температури ціанування до 620-660° С призводить до збільшення товщини карбонітридного шару, проте iнтенсивнiсть збільшення з ростом температури знижується. Максимальна товщина карбонітридної зони відповідає температурі ~ 660° С незалежно від тривалості насичення.

При дослідженні електролітичного залізоборидного сплаву було виявлено, що температура досягнення максимальної глибини карбонітридної зони залежить від тривалості процесу. Наприклад, при ціануванні впродовж 1,5 годин максимальна товщина відповідає температурі ~ 600° С, а при ціануванні впродовж 6 годин - температурному інтервалу 600-700° С. Це можна простежити на графіках, представлених на рис. 3.21.

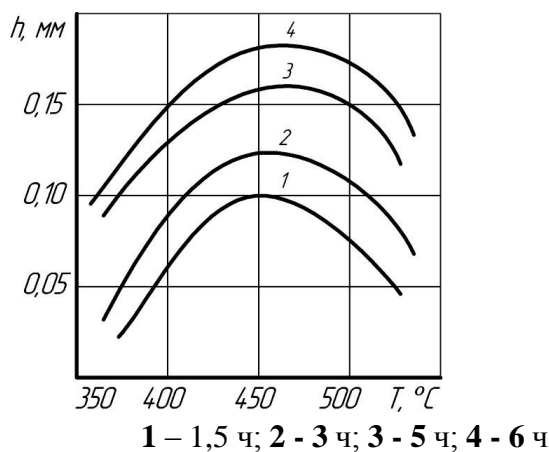


Рисунок 3.21. Залежність товщини карбонітридної зони в сплавi Fe - В від температури ціанування

Це явище можна пояснити впливом відразу декількох процесів : зміною коефіцієнтів дифузії, компонентів системи Fe - В - С - N і температури, зміною складу карбонітридної зони.

Товщина дифузійного шару на початку процесу ціанування росте дуже iнтенсивно, проте після 5 годин ріст практично припиняється.

Ріст шару карбонітридів на електроосадженому залізоборидному покритті зі збільшенням часу ціанування дещо знижує свою інтенсивність. Підвищення температури ціанування вище 750°C призводить спочатку до зниження інтенсивності, а потім і зовсім до зникнення росту. На графіку, представленою нижче, для наочності показана залежність товщини дифузійного шару від тривалості ціанування не лише залізоборидного, але і чистого залізного покриття при температурі ціанування 600°C .

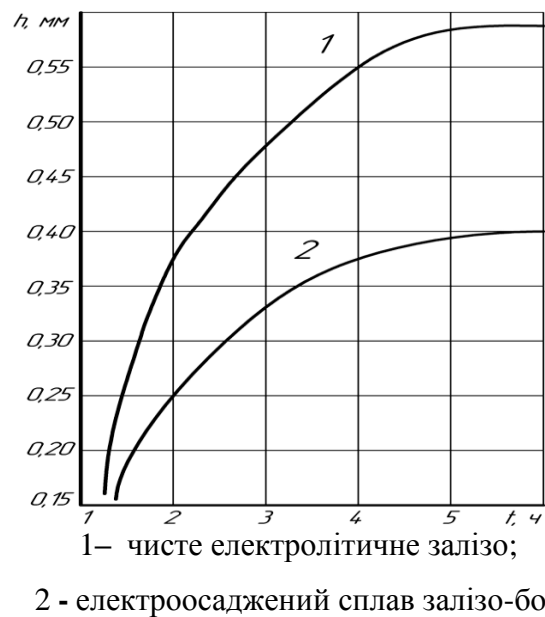


Рисунок 3.22. Залежність товщини дифузійного шару від тривалості процесу ціанування

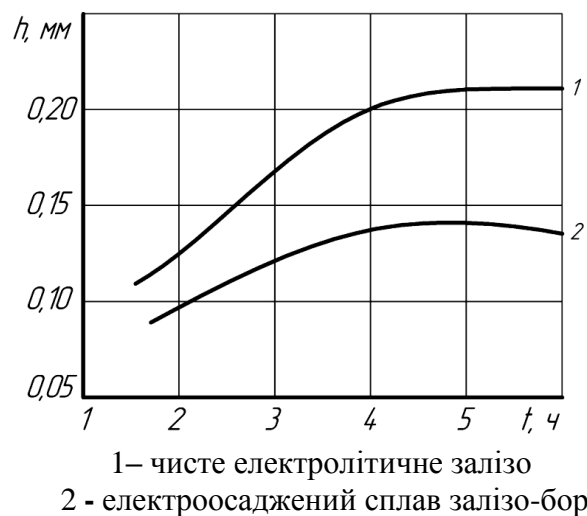


Рисунок 3.23. Залежність товщини карбонітридної зони у сплаві Fe–B від температури ціанування

За результатами проведених досліджень можна оптимізувати процес

ціанування електроосаджених покриттів за температурою та часом. Найбільш підходящою температурою процесу насичення покриттів азотом і вуглецем, на нашу думку, є інтервал 600-650°C при тривалості процесу 3-5 годин. Проте тривалість процесу не має перевищувати 5 годин, оскільки подальша витримка серед насичення азотом і вуглецем призводить до руйнації карбонітридного шару.

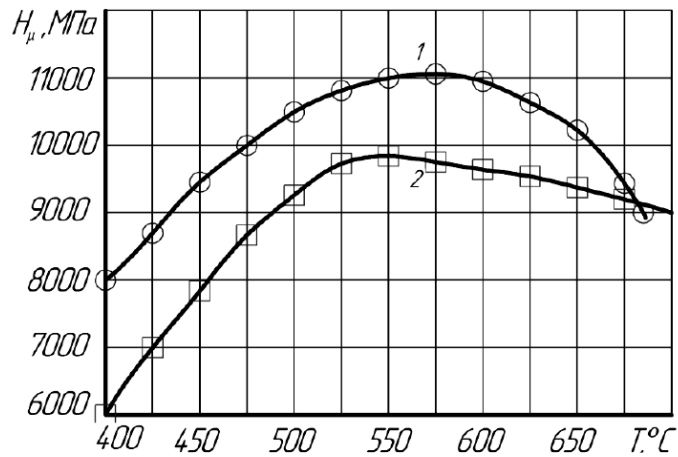
3.8. Твердість і фазовий склад ціанованих шарів

Для вивчення впливу режимів насичення покриття азотом і вуглецем на міцнісні характеристики дифузійних шарів було проведено ціанування при температурах 550-750°C .

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що при підвищенні температури від 550 до 650-670° С твердість покриття зростає (рис. 4.26). Цей діапазон температур відповідає температурі росту товщини карбонітридної кірки, яка також призводить до підвищення мікротвердості. Проте подальше підвищення температури процесу викликає зниження мікротвердості покриття.

Насичення азотом і вуглецем залізоборидного сплаву при температурі 650° С відповідає мікротвердості близько 12000 МПа, при цій же температурі ціанування чисте електролітичне залізо має мікротвердість близько 10000 МПа, проте при температурі 750°C мікротвердість сплаву знижується до 8000 МПа, тоді як мікротвердість чистого заліза складає 9000 МПа.

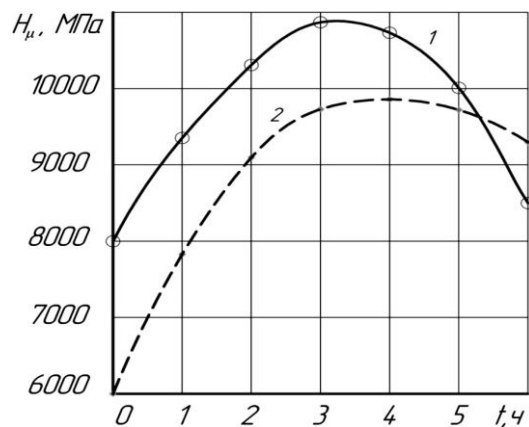
На твердість ціанованих шарів також впливає тривалість процесу : зі збільшенням тривалості ціанування до 3 годин твердість зростає, проте подальше збільшення часу процесу призводить до досить різкого зниження твердості. Ці залежності представлені на рис. 3.24 і 3.25.



1 – електролітичне залізне покриття;

2 - електроосаджений Fe - В сплав

Рисунок 3.24. Залежність мікротвердості покриттів від температури ціанування (тривалість 3 години).



1 – електролітичне залізне покриття;

2 - електроосаджений Fe - В сплав

Рисунок 3.25. Залежність мікротвердості поверхневих шарів від тривалості ціанування при температурі 650°C

3.9 Зносостійкість ціанованих шарів

Однією з самих важливих характеристик, для роботи деталей сільськогосподарської техніки, являється зносостійкість. Щоб адекватно оцінити цю характеристику, нами були прийняті методики, відтворюючі умови тертя і навантаження, властиві експлуатації більшості деталей сільськогосподарської техніки.

Дослідження проводилися на машині тертя СМЦ- 2 за схемами «ролик – колодка» и «ролик – ролик».

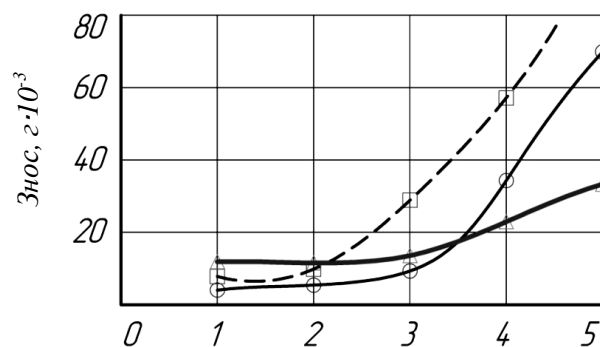
Для виявлення впливу питомого навантаження на зношування поверхонь, зразки випробовували при терті без мастила, змінюючи тиск

від 0,05 до 5,0 МПа. В якості зразка використали ролики, на які нанесені железоборидные покриття, ціановані при температурах 500, 600 і 700°C. Тривалість одного циклу складала 100000 оборотів зразка. Результати випробувань представлені на рис. 3.31.

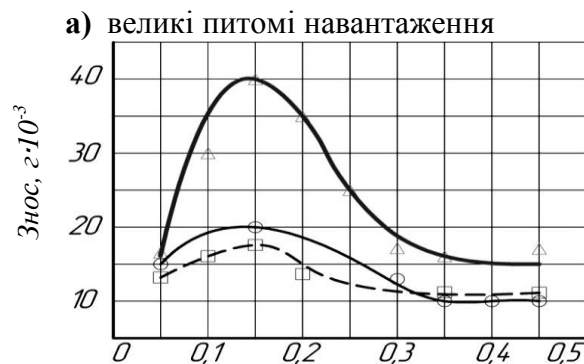
У зоні малих питомих навантажень з підвищенням тиску дещо збільшується інтенсивність зношування, що особливо помітно на зразках, ціанованих при температурі 700°C. Ріст питомих навантажень з 0,15 МПа до 0,35-0,40 МПа призводить до зниження інтенсивності зношування. Подальше підвищення тиску встановлює зношування на постійному рівні.

Зниження зносу ціанованих поверхонь, з підвищенням навантажень від 0,05 МПа до 0,15 МПа, пояснюється самонаклепом поверхні тертя.

Дія сил тертя в області високих тисків викликає втомні явища, виникають тріщини в поверхневому шарі і відділення його фрагментів від основного металу. У цих умовах знос залежить від питомих навантажень, носить практично прямо пропорційний характер.



Питоме навантаження, МПа



Питоме навантаження, МПа

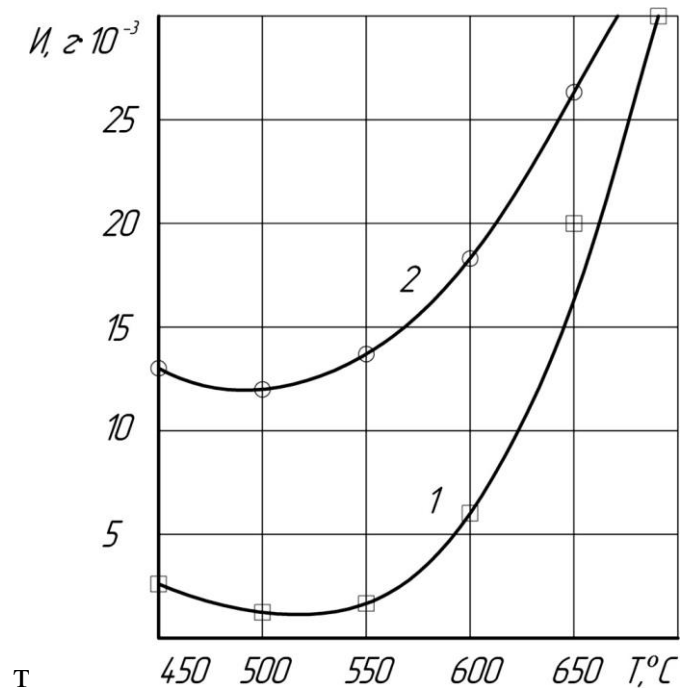
б) малі питомі навантаження

1 – 500 °C (◇); 2 - 600°C(○); 3 - 700°C (□)

Рисунок 3.26. Знос ціанованого покриття Fe - В

Результати випробування залежності зносу зміцнених електролітичних Fe - В покриттів від температури ціанування при терті без мастила представлені на рис. 3.28. Температура ціанування 550- 650°C дозволяє отримати мінімальні значення зносу покриттів. Подальше підвищення температури ціанування веде до інтенсивного збільшення зносу, порядку 6-10 кратної величини при температурі насичення 800°C .

Ця залежність, як ми вважаємо, пояснюється тим, що при низьких температурах на поверхні покриттів утворюється ϵ -карбонітрид, який має високі антифрикційні властивості. При температурах 600–650 °C збільшується товщина карбонітридної кірки, а також утворюються нітриди бору та борида заліза, що сприяє найменшим значенням зносу. Однак збільшення температури насичення до 700°C і вище призводить до розпаду ϵ -карбонітриду, що викликає різке прискорення інтенсивності зношування.



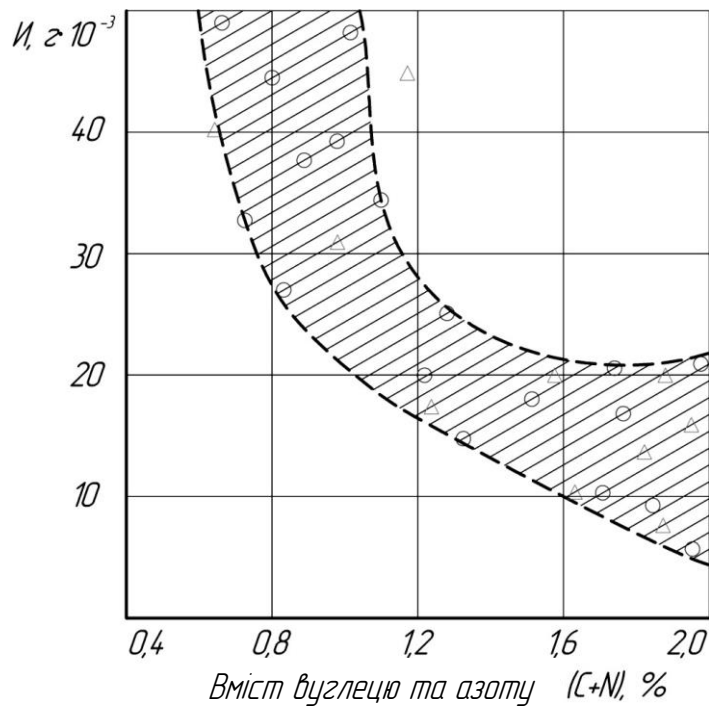
1 – електроосаджений сплав Fe - 2,0%B;

2 - електроосаджене залізо

Рисунок 3.27. Вплив температури ціанування на знос покриттів

На графіку, представленою нижче, приведена залежність зносостійкості ціанованих шарів від вмісту вуглецю з азотом в покритті.

Впливи сумарного вмісту вуглецю і азоту в ціанованому шарі на його знос при терті без мастила простежується досить чітко, незважаючи на розкид експериментальних точок.



Питоме навантаження 0,8 МПа, Δ - залізо; \circ - залізо + 2,0 % В

Рисунок 3.28. Залежність зносу при терті без мастила від вмісту вуглецю і азоту в поверхневому шарі покриттів

Низький вміст N і C в поверхневому шарі призводить до високої інтенсивності зношування покриття. За таких умов відбувається, мабуть, катастрофічне зношування по механізму захоплювання.

Підвищення міри насичення поверхневого шару N і C викликає швидке зниження інтенсивності зношування і приблизно до 2 % загальний вміст N і C знос мінімальний.

Як видно з графіку, значний вплив на міцність поверхневих шарів робить температура ціанування. Зразки покриттів без хіміко-термічного зміцнення отримали перші сліди задиру при тисках 1,5...2,5 МПа, тоді як ціановані зразки отримували перші сліди задиру при навантаженнях не нижче 4 МПа.

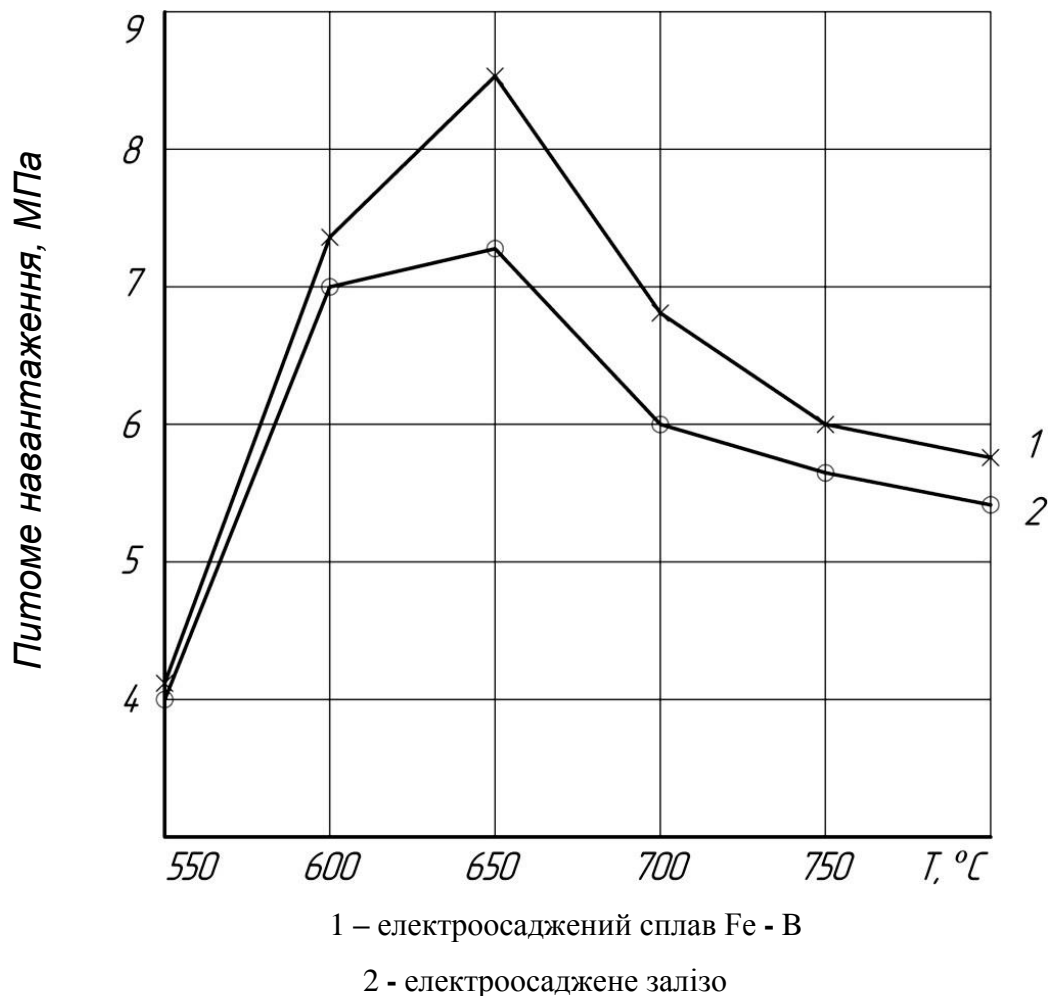


Рисунок 3.29. Вплив температури ціанування на питомі навантаження, при яких відбувається захоплення поверхні (тертя без мастила)

Як видно з графіку, найбільш раціональною температурою ціанування є 600-650°C . Цей інтервал температур відповідає також максимальній товщині кірки карбонітриду і максимальній мікротвердості.

Подальші випробування проводили за умов тертя зі змащенням, за схемою «ролик – колодка». Ролик мав електроосаджене залізоборидне покриття, зміцнене ціануванням, а колодка виготовлялася зі сталі 40 і була зміцнена загартуванням з низькою відпусткою. Як рідке мастило використовували індустріальне масло І-14А , швидкість подачі масла - 12 крапель на хвилину. Ролик обертався із частотою 1000 об/хв, питоме навантаження – 2,5 МПа, тривалість випробування – 2 години.

Результати випробувань приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Вплив температури ціанування на знос зміцнених покриттів.

Тип покриття	Час випробування, год	Знос зразка, $\text{г} \cdot 10^{-3}$				
		Температура ціанування, $^{\circ}\text{C}$				
		550	600	650	700	750
Чисте залізо	2	14	16	26	33	35
Залізо + 2,0 % В	2	9	8	21	28	36

За наведеними даними можна встановити, що знос ціанованих зразків при терті з мастилом виявився приблизно на 2 порядки нижче, ніж при терті без мастила. Збільшення часу також призвело до істотного збільшення зносу. Підвищення температури ціанування збільшує інтенсивність зносу. Fe-B покриття, піддане ціануванню при температурі 500-600 $^{\circ}\text{C}$, зношувалося в 2-3 рази менше, ніж при температурі ціанування 750 $^{\circ}\text{C}$. У випадках реальної експлуатації деталей мастило буває забруднено абразивними частками, тому були проведені випробування зміцнених зразків в умовах тертя з мастилом, забрудненим абразивом. Для випробувань в 1 літр олії додавали 5 г піску і (до 15 мкм), створюючи однорідну суспензію. Результати випробувань приведені на рис. 3.30 і 3.31.

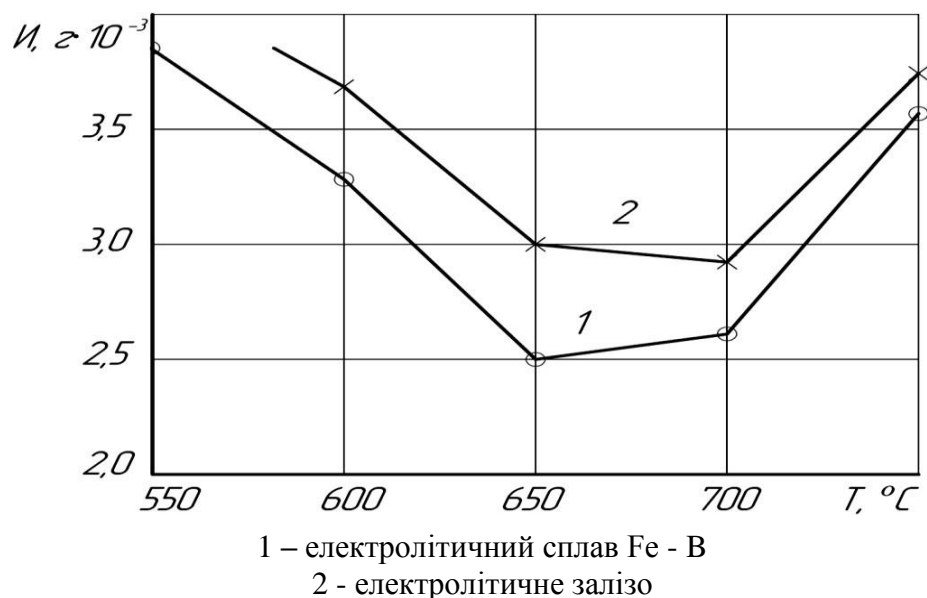
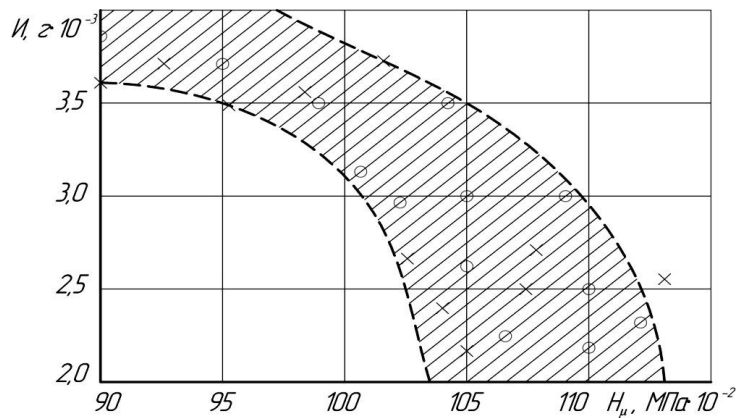


Рисунок 3.30. Вплив температури ціанування при терті з мастилом з додаванням абразиву на знос покриттів



○— електроосаджений сплав Fe - B; ×- електроосаджене залізо

Рисунок 3.31. Вплив мікротвердості абразиву в мастилі на знос покриттів

За отриманими даними можна зробити висновок про те, що температура ціанування неоднозначно впливає на знос покриття при абразивному зношуванні. Температура ціанування 600...700°C відповідає мінімальному значенню зносу, проте подальше підвищення температури призводить до його збільшення.

Ця залежність дещо складніша (рис. 3.31). Абразивні частки не можуть впровадитися в зношувану поверхню під дією зовнішнього навантаження, і їх різальна дія припиняється. Це відбувається тому, що твердість поверхні металу досягає твердості абразиву або перевершує його.

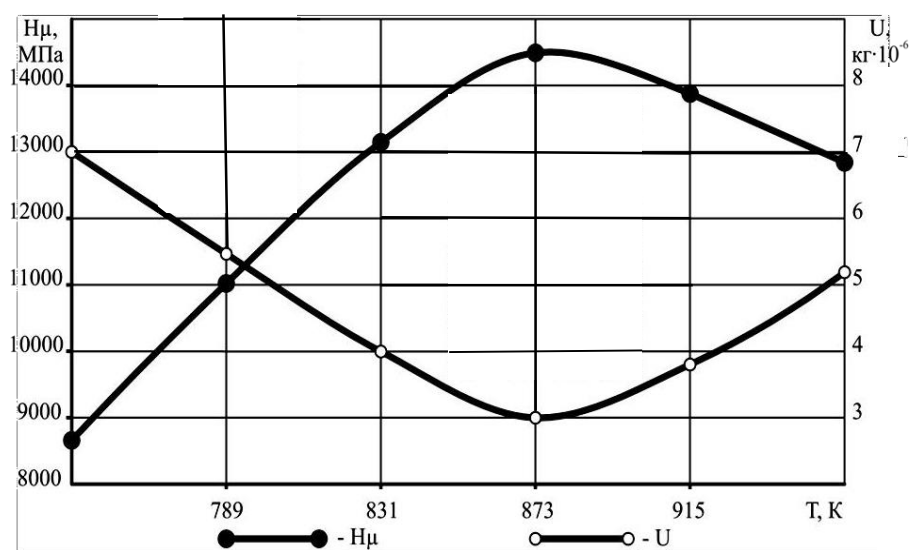


Рисунок 3.32. Залежність мікротвердості і зносу залізоборидних покриттів від температури ціанування

Висновки до 3 розділу

1. Виявлено, що найбільший вплив на покриття роблять концентрація в електроліті боровмісної добавки, катодна щільність струму і коефіцієнт асиметрії струму.
2. Встановлені інтервали зміни параметрів електролізу для отримання якісних покриттів : концентрація $\text{Fe Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 200-400 кг/м³, концентрація $\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$ 0,6-1,4 кг/м³, $D_k=20-60$ А/дм²; $\beta = 2-6$, $t=20-60^\circ\text{C}$, рН 1,2-0,8.
3. Встановлені оптимальні температурні режими ціанування і термообробки для поверхневого зміцнення деталей, відновлених електроосадженими сплавами.
4. Встановлено, що за 2-3 години низькотемпературним ціануванням можна отримати поверхню, що має мікротвердість, яка не поступається твердості кварцу, найбільш поширеного в середовищах, в яких працює сільськогосподарська техніка.

4 Економічна ефективність застосування Fe - В покриттів

4.1 Економічна ефективність відновлення деталей сільськогосподарської техніки залізоборидними покриттями

При оцінці економічної ефективності способу відновлення деталей машин необхідно враховувати як економічність самого процесу так і довговічність відновлених деталей, що дає можливість вирішувати проблему в техніко-економічній сукупності.

Черкун В.Я. рекомендує визначати доцільність відновлення деталей через техніко-економічний критерій, який виражається наступною залежністю [66]:

$$C_v \leq C_n \cdot k, \quad (4.1)$$

де C_v - собівартість відновлення зношеної деталі, грн;

C_n - вартість нової деталі, грн;

k - коефіцієнт довговічності відновленої деталі.

Виходячи з вказаної залежності, вибір раціонального способу відновлення деталей зводиться до розрахунку собівартості відновлення і встановлення коефіцієнта довговічності. Вартість нових деталей приймалася відповідно до прейскуранта цін, а коефіцієнт довговічності визначався за результатами проведених порівняльних експлуатаційних випробувань.

Економічна ефективність технології відновлення золотника гідророзподільника Р- 80 оцінювалася відносно річного об'єму відновлення золотників гідророзподільника, що складає 1000 шт.

Собівартість відновлення і зміцнення золотника гідророзподільника

Р- 80 визначається по формулі:

$$S_b = Z_o + Z_d + N + R + Z_e + Z_t + P + O \text{ грн}, \quad (4.2)$$

де Z_o - основна заробітна плата робітників;

Z_d - додаткова заробітна плата робітників (10% Z_o);

N - податки з Z_o ;

R - витрати на придбання ремонтних матеріалів;

Z_e - витрати на електроенергію;

Z_t – витрати на зміцнення (ціанування відновленої деталі);

P – інші витрати (2 % ФОП);

O – витрати на управління і організацію нової технології (2-3 % ФОП).

Заробітна плата визначається з вираження:

$$Z_o = \sum_{t=1}^n T_i \cdot C_{uac} , \quad (4.3)$$

де T_i - трудомісткість виконання робіт по відновленню золотника, чол-год.;

C_{uac} - середня годинна тарифна ставка робітників, грн./год.

Трудомісткість відновлення і зміцнення золотника гідророзподільника складається з трудомісткості кожної з операцій і визначається на основі хронометражу або операційних карт.

$$t_{nm} = \frac{(t + t_{\epsilon}) \cdot k_{\partial}}{N_{\epsilon} \cdot n_{\partial} \cdot 5_u} , \quad (4.4)$$

де t_o - основний штучний час на відновлення однієї деталі, хв;

$t_{\text{вн}}$ - час, що не перекривається, хв ($t_{\text{вн}} = 0,3$);

k_{∂} - коефіцієнт, що враховує додаткове і підготовчо-завершальний час,

$k_{\partial} = 1,10-1,15$;

N_{ϵ} - число основних однойменних ванн, що обслуговуються робітником;

n_{∂} - число одночасно завантажуваних у ванну деталей ($n_{\partial} = 50$);

5_u - коефіцієнт використання ванн, що враховує втрати часу на початку і кінці зміни, $5_u = 0,8-0,9$.

Основний час визначається:

$$t = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot h}{D_k \cdot C \cdot 5_k} , \quad (4.5)$$

де h - товщина покриття, мм (приймаємо 0,3 мм);

D_k - катодна щільність струму, А/дм²;

5_k – катодний вихід металу по струму, 90%;

γ – плотность обложеного металу, 7,8 г/см²;

C - електрохімічний еквівалент, 1,042 г/А·год.

$$t_o = 2,5.$$

$$t_{nm} = \frac{(2,5 + 0,3) \cdot 1,1}{1 \cdot 50 \cdot 0,8} = 0,077 \text{ год/шт}$$

Час, витрачений на ціанування при температурі 500°C - складає 1 годину.

Час, витрачений на шліфування до 7 класу чистоти поверхні після нанесення покриття, складає 2 хвилини $t_{шл}=0,033$ год.

Тарифна ставка для робітника, зайнятого нанесенням покриття, і робітника, зайнятого ціануванням, відповідає IV розряду і рівна 87,5 грн/год, а для робітника, зайнятого шліфуванням, відповідає III розряду і рівна 62,5 грн/год.

Собівартість відновлення золотника.

Відрахування на основну заробітну плату по операції нанесення покриття, ціанування і подальшого шліфування склали:

$$Z_o = 0,077 \cdot 87,5 + 0,033 \cdot 62,5 + 1 \cdot 87,5 = 96,3 \text{ грн/шт}$$

Додаткова заробітна плата по операціях нанесення покриття, ціанування і шліфування ЗПд.

Загальні відрахування на основну заробітну плату робітникам, зайнятим відновленням золотників

$$Z^o = 96,3 + 9,6 = 105,9 \text{ грн.}$$

На тисячу деталей відповідно до 105900 грн.

Таким чином, фонд оплати праці при відновленні 1000 золотників становитиме: ФОП = 105900;

Відрахування:

ПФ = 20,6 % ФОП = 21815,4 грн; ФСС = 5,4 % ФОП = 5718,6 грн; СКОУ = 1 % ФОП = 1059 грн; МОС = 1 % ФОП = 1059 грн; ОМС = 3,6 % ФОП = 3812,4 грн; ФЗ = 2 % ФОП = 2118 грн; ОУП = 2–3 % ФОП = 2118 грн.

Податки, що виплачуються підприємством при відновленні 1000 шт. золотників :

$$N = 21815,4 + 5718,6 + 1059 + 1059 + 3812,4 + 2118 + 2118 = 37700,4 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали, використовувані при нанесенні железоборидного покриття, визначається по формулі:

$$R = N_m \cdot C_m, \quad (4.6)$$

де N_m - норма витрати матеріалів на відновлення однієї деталі, кг;

C_m - ціна одиниці ремонтних матеріалів, грн.

Експериментально встановлені норми витрати матеріалів на операцію електроосадження Fe - В сплав і ціанування з урахуванням багатократного використання суміші приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1-Норми витрати матеріалів на операцію електроосадження Fe - В сплав і ціанування

Найменування матеріалу	Норма витрати	Ціна за 1 кг, грн
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,05	350
HCl	0,01	250
H_2SO_4	0,005	250
$\text{Na}_3\text{B}_{10}\text{H}_{10}$	0,001	6000
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	0,003	82
$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	0,04	465
Na_2CO_3	0,02	60
CaCO_3	0,02	110
Сажа	0,03	25
Шамот	0,03	18

Загальна сума на реактиви для приготування електроліту рівна
 $R = 0,05 \cdot 350 + 0,01 \cdot 250 + 0,005 \cdot 250 + 0,001 \cdot 6000 + 0,03 \cdot 82 + 0,04 \cdot 465 + 0,02 \cdot 60 + 0,02 \cdot 110 + 0,03 \cdot 25 + 0,03 \cdot 18 = 53 \text{ грн./шт.}$

Витрату електроенергії на електролітичне знежирення, анодне травлення і нанесення покриттів визначали по формулі:

$$W = \frac{D \cdot t \cdot U \cdot F}{5 \cdot 1000}, \quad (4.7)$$

t - час на процес, хв;

U - напруга, В;

5 – ККД установки = 0,75;

F - загальна площа обробки, дм^2 .

Витрату електроенергії на вентиляцію визначали по формулі:

$$W_B = N_B \cdot T_{\text{см.}} \cdot 5 = 18150,0 \text{ грн}$$

де N_B - потужність електродвигуна вентилятора, кВт.год;

$T_{\text{р.в.}}$ - річний фонд робочого часу, год;

5 – к.к.д. електродвигуна = 0,8.

Використовуючи вказані формули, витрата електроенергії на електроліз при відновленні 1000 золотників складе 2200 кВт.год, при вартості електроенергії 7,50 грн. за 1 кВт визначимо $3_e = 16500$ грн.

Витрати електроенергії на проведення хіміко-термічної обробки (ціанування) визначали таким чином:

$$3_z^m = Q^u \cdot C_z, \quad (4.8)$$

де Q^u - витрата електроенергії на ціанування;

C_z - вартість електроенергії - 7,5 грн за 1 кВт.

Витрата електроенергії на ціанування 1 золотника визначається формулою:

$$Q^u = \frac{W \cdot \tau \cdot K_u \cdot K_z}{N}, \quad (4.9)$$

де W - встановлена потужність споживання електричною піччю 75 кВт;

τ – час виходу на режим і час насичення, 5 год;

K_u - коефіцієнт використання печі, $K_u = 0,55$;

K_z – коефіцієнт завантаження печі, $K_z = 0,7$;

N - кількість деталей, що ціанують одночасно, шт

$$N = 5,7 \text{ кВт.год/шт.}$$

Витрати на електроенергію при ціануванні 1000 штук золотників :

$$Q_{\text{ц}} = 5700 \cdot 7,5 = 42750 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на електроенергію за цією технологією відновлення і зміцнення складуть:

$$З_{\text{е}} = 16500 + 18150 + 42750 = 77400 \text{ грн.}$$

Визначаємо собівартість 1000 золотників, відновлених нанесенням залізоборидних покриттів :

$$C_{\text{в}} = C_{\text{в}} = 105900 + 1059 + 37700 + 53000 + 77400 + 2118 + 2118 = 279295 \text{ грн.}$$

Отже, вартість відновлення 1 золотника складає 279,3 грн.

У ремонтному виробництві золотники гідророзподільників відновлюють електролітичним залізненням, а частіше просто виготовляють нові. Середня собівартість в двох випадках складає 600...700 грн.

Як вказувалося раніше, застосування способу відновлення визначають на основі техніко-економічного критерію відновлених деталей в порівнянні з витратами на виготовлення нових деталей, тобто з їх собівартістю.

Експлуатаційні випробування показали, що знос відновленої деталі нижче зносу нової практично в 3 рази, тому коефіцієнт підвищення довговічності дорівнюватиме 3.

Підставивши отримані значення в рівняння 5.1, отримаємо вираження, для відновлення 1 деталі :

$$279,3 \leq 600 \cdot 3; \quad 279,3 \leq 1800.$$

Цей розрахунок показує техніко-економічну доцільність відновлення деталей машин електроосадженим електролітичним покриттям Fe - В.

Щоб повністю оцінити доцільність відновлення деталей сільськогосподарської техніки пропонованим методом, зробимо порівняння з гальванічним залізом.

Коефіцієнт довговічності заліза знаходиться в межах 0,7-0,9.

Показники порівняння розраховуються по формулі

$$\varphi_1 = \frac{600}{0,8} = 750 \text{ для електролітичного заліза}$$

$$\varphi_1 = \frac{279,3}{3} = 93,1 - \text{для залізоборидних покриттів.}$$

Отримані розрахунки підтверджують доцільність застосування зміцненого залізоборидного покриття для відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. Собівартість відновлення 1000 золотників пропонованим способом складає 279295 грн, залізненням або заміною - 600000 грн. Відповідно економічний ефект складе 320705 грн. при виробничій програмі 1000 шт/рік.

4.2 Виробничі рекомендації по експлуатації установок для відновлення деталей залізоборидними покриттями

Завдяки високій твердості і зносостійкості покриття Fe - В можуть широко застосовуватися для відновлення деталей сільськогосподарської техніки.

Нині зміцнені залізоборидні покриття використовуються для відновлення наступних деталей : клапанів, штовхальників, нижніх голівок шатунів, посадочних місць під підшипники КПП, золотників гідророзподільників та ін.

Проведені дослідження (визначений оптимальний склад електроліту і режими електролізу, вивчена структура, твердість, внутрішня напруга, міцність зчеплення з основним металом і зносостійкість), розроблений технологічний процес відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки електролітичними залізоборидними покриттями.

Технологічний процес передбачає послідовність операцій, які забезпечують осадження на зношену поверхню деталі добре зчепленого з нею шару покриття

необхідної твердості і товщини. Операції повинні виконуватися в наступній послідовності:

1. Первинна механічна обробка поверхонь, що підлягають відновленню.
2. Промивання в органічному розчиннику.
3. Монтаж деталей в підвісне пристосування.
4. Хімічне знежирення віденським вапном.
5. Промивання підвіски з деталями проточною водою.
6. Анодне травлення в 30 % розчині сірчаної кислоти з додаванням 10-30 кг/м³ сірчаноокислого заліза. Щільність розчину 1,23, щільність струму 50-60 А/дм². Тривалість анодного, що труєть 1-2 хвилини. Катоди - свинцеві пластини.
7. Промивання підвіски з деталями в холодній проточній воді.
8. Електроосадження залізоборидних покриттів в електроліті наступного складу: хлорид заліза – 350–400 кг/м³; лимонна кислота – 4-5 кг/м³; декагідроборат натрію – 1,0–1,2 кг/м³; соляна кислота - до рН = 0,8 - 1,0. Температура електроліту – 40 °С. Щільність струму – 25-35 А/дм². Коефіцієнт асиметрії – 5-6. Процес електроосадження слід починати з нанесення підшару покриття в розгінному режимі, при якому коефіцієнт асиметрії встановлюється рівним 1,25-1,3, а щільність струму напівперіоду катодного - 10-15 А/дм². Тривалість розгінного режиму – 4–5 хвилин, після чого показник асиметрії та щільність струму збільшуються до розрахункових значень.Промивання підвіски з деталями в холодній проточній воді.
9. Нейтралізація в 10 % розчині їдкого натрію впродовж 5 хвилин.
10. Промивання підвіски з деталями проточною водою.
11. Демонтаж деталей з підвіски.
12. Контроль якості покриттів.
13. Механічна обробка.

У практиці виникає необхідність відновлення деталей, виготовлених з високолегованих і особливо міцних сталей. Для забезпечення надійного зчеплення покриттів з основним металом можна рекомендувати попереднє травлення в розчині сірчаної кислоти.

Нарощування покриттів Fe - В ведеться з розчинними анодами з маловуглецевої сталі, які поміщають в чохли із склотканини. Для того, щоб забезпечити стабільність електроліту, а також поліпшити розподіл металу по поверхні відновлюваної деталі, слід витримувати співвідношення площ анодів і катодів 2:1. Аноди не повинні перевищувати по довжині деталі, що покриваються, і мають бути завішані у ванну симетрично по відношенню до кожної деталі і на одному рівні з ними.

Електроліт необхідно готувати на дистильованій воді. В процесі електроосадження доливати слід також дистильовану воду (що підкисляє) для уникнення накопичення сторонніх іонів.

Тривалість процесу осадження залежить від товщини покриття і режиму електролізу і визначається по формулі:

$$t = \frac{7400 \cdot h}{D_{\text{эф}} \cdot \eta},$$

де h - товщина покриття, мм;

D - ефективна щільність струму, А/дм²;

η – вихід по струму, %.

Насправді товщина покриття після електролізу може бути дещо нижча розрахункової, оскільки неправильне розташування анодів і недосконала конструкція пристосувань створюють умови для нерівномірного розподілу струму, до того ж засмічення електроліту і надмірно висока щільність струму викликають появу дендриту, на що витрачається значна частина струму.

В процесі електролізу аноди розчиняються і на їх поверхні утворюється шар анодного шламу, який, маючи великий

опором, знижує щільність струму. Для нормального ведення процесу необхідно періодично виймати аноди з ванни і очищати їх від шламу. Використати аноди без чохлів не рекомендується.

Після осадження шару покриттів необхідної товщини живлення ванни відключається, деталі виймаються з ванни і промиваються проточною водою. Цій операції слід приділяти особливу увагу, оскільки в порах покриття скупчуються залишки електроліту, що викликають інтенсивну корозію деталей. Для підвищення корозійної стійкості відновлених деталей необхідно їх нейтралізувати в розчині лугу.

Промиті деталі демонтуються з підвісних пристосувань і піддаються контролю. Якість покриттів в цехових умовах оцінюється на вигляд і мікротвердості покриттів за допомогою приладу ПМТ- 3.

Механічна обробка відновлених деталей здійснюється на шліфувальних верстатах. Щоб уникнути засалювання шліфувального круга відновлені деталі слід шліфувати середньозернистими кругами на м'якій основі.

4.3 Рекомендації по зміцненню Fe - В покриттів ціануванням

Підвищення зносостійкості відновлюваних деталей сільськогосподарської техніки можна добитися зміцненням покриття Fe - В ціануванням, яке використовується стосовно електроосадженого залізоборидного шару. Температуру процесу змінювали в межах 550...650°C, тривалість насичення складала 1-3 години. Цей інтервал температур і тривалості процесу відповідає максимальній величині карбонітридного шару (0,4 мм). Паста, використовувана для насичення електроосаджених покриттів, мала наступний склад (мас.%) : $K_4[Fe(CN)_6]$ близько 70%, сажа 20%, Na_2CO_3 5 %, Na_2CO_3 5 %. Такий склад пасти забезпечує максимальну товщину карбонітридної зони, а також і усього дифузійного шару. Електроосаджене покриття Fe - В, ціановане в таких умовах, мало мікротвердість 11000-12000 МПа. Подібне збільшення мікротвердості пояснюється утворенням карбонітридів заліза, нітриду заліза, а також нітриду бору. Усі ці компоненти мають високу мікротвердість і зносостійкість.

Цей спосіб є економічно ефективним, отримувані покриття володіють високою твердістю, зносостійкість отриманих покриттів перевищує в 2,5...3,0 рази незміцнені покриття. Ці дані дозволяють рекомендувати розроблений спосіб для відновлення і зміцнення деталей сільськогосподарської техніки.

4.3 Висновки до 5 розділу

1. Розроблені рекомендації по відновленню деталей сільськогосподарської техніки електроосадженими Fe - В покриттями.
2. Запропонована комбінована технологія нанесення покриттів Fe - В з подальшим зміцненням ціануванням.
3. Отримані покриття придатні для відновлення і зміцнення деталей, які працюють в тяжких температурних умовах, а також при ударних навантаженнях. Зносостійкість таких деталей перевищує зносостійкість стандартних.
4. Середній річний ефект за рахунок впровадження розробленої технології складає близько 320 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Запропонований спосіб електролітичного осадження зносостійких покриттів з хлоридних електролітів із застосуванням періодичного струму.
2. Отримана залежність зносостійкості залізоборидних покриттів від параметрів електролізу.

Найбільш раціональні значення параметрів електролізу наступні: показник асиметрії - $\beta=6,43$, катодна щільність струму - $D_k=18 \text{ А/дм}^2$, концентрація декагідробората натрію - $K_3 B_{10} H_{10}=1,07 \text{ кг/м}^3$.

3. Виявлена можливість зміни структури осаджуваного покриття від параметрів електролізу. Зі збільшенням змісту бору понад 3 % шаруватість збільшується при одночасному погіршенні якості покриттів.

4. Визначена залежність міцності зчеплення покриттів від параметрів електролізу, а також оптимальні умови розгінного циклу в початковий період електролізу, що забезпечують високу міцність зчеплення покриттів з основним металом.

5. Зносостійкість залізоборидних покриттів в початковому стані в 2,5 разу вище за зносостійкість сталі 45 і в 3,3 разу вище за зносостійкість електролітичного заліза.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шадричев, В.А. Основы выбора рационального способа восстановления автомобильных деталей металлопокрытиями [Текст] / В.А. Шадричев // М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы.- 1982.- 295 с.
2. Зуев, А.А. Восстановление шеек валов [Текст] / А.А. Зуев // Сельский механизатор.- 2015.- №5,- с.14-15.
3. Зуев, А.А. Технология восстановления шеек коленчатых валов [Текст] / А.А. Зуев, А.В. Арсентьев, А.А. Федорищев // Двигателестроение.- 2006.- №3.- с.40-42.
4. Сковородин, В.Я. Исследование возможности формирования металлокерамических пленок при финишной антифрикционной обработке гильз цилиндров геомодификаторами [Текст] / В.Я. Сковородин, Е.Е. Пуршель//Известия С-Петербургского государственного аграрного университета.- 2016.- №42.- с. 333-340.
5. Сковородин, В.Я. Формирование источников тепла при отделочно-антифрикционной обработке гильз цилиндров автотракторных двигателей [Текст] / В.Я. Сковородин, Е.Е. Пуршель // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.- 2016.- №44.- с. 269-277.
6. Ожегов, Н.М. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с учетом экологических требований [Текст] / В.А. Ружьев, Н.М. Ожегов, Д.А. Капошко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.- 2015.- №38.- с. 254-259.
7. Ожегов, Н.М. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе совершенствования наплавочных технологий [Текст] / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, Д.А. Капошко и др. // труды ГОСНИТИ.- 2015.- т.121.- с. 273-281.
8. Гузун, М. В. Структура, физико - механические и эксплуатационные свойства композиционных покрытий на основе железа и его сплавов / М. В. Гузун, Ж. И. Бобанова // Электронная обработка материалов. – 2006. – №5. – С. 20-27.
9. Каракуркчі Г.В. Електролітичні покриття заліза з тугоплавкими металами в технологіях ремонту автомобілів / Г.В. Каракуркчі, М.В. Ведь, М.Д. Сахненко // Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту

і експертизи автомобіля: зб. тез Міжнародної науково-практичної конференції з нагоди Дня автомобіліста і дорожника, присв. 90-років проф. Н.Я. Говорущенко, Харків, 15 – 16 жовтня 2014 р. – Харків: ХНАДУ, 2014. – С. 184 – 185.

10. Галль, Н. Термообработка покрытий, полученных способом твердого осталивания [Текст] / Н. Галль // Автомобильный транспорт- №12-1960-с. 22-25.

11. Васильєва О.О. Електроосадження функціональних композиційних покриттів на основі заліза / О. О. Васильєва, А. В. Цуркан, А. А. Кітик, В. С. Проценко // VII Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології», 27–29 квітня 2015 р.: тези доповідей. – Дніпропетровськ, 2015. – С. 60.

12. Андрейчук, В.К. Исследование усталостной прочности образцов, железненных в смешанном электролите [Текст] / В.К. Андрейчук, Л.Н. Андреева // Сб. научн. Трудов КСХИ- Кишинев- т.59-1970- с.71-75.

13. Мамонтов, Е.А. О механизме сцепляемости электролитических осадков железа [Текст] / Е.А. Мамонтов, Ю.Н. Петров. // Электронная обработка материалов- №6- 1968- с. 32-34.

14. Пономарев, А.В. Исследование возможности повышения надежности восстановления деталей сельскохозяйственной техники железнением [Текст] / А.В. Пономарев // Дисс.канд.тех.наук-М.-1979- 151 с.

15. Яков, В.Н. Оптимизация режимов питания ванн железнения при восстановлении изношенных деталей сельхозмашин [Текст] / В.Н. Яков // Дисс.канд.техн.наук-М.- 1984- 160 с.

16. Мелков, М.П. Гальваническое наращивание деталей машин железом [Текст] / М.П. Мелков // М.: Лесная промышленность- 1971- 174с.

17. Васильєва О. О. Електрохімічне осадження композиційних покриттів на основі заліза з метансульфонатного електроліту / О. О. Васильєва, А. В. Цуркан, В. С. Проценко, Ф. Й. Данилов // VII Український з'їзд з електрохімії «Сучасні проблеми електрохімії: освіта, наука, виробництво», 21–25 вересня 2015 р.: тези доповідей. – Харків, 2015. – С. 103.

18. Батищев, А.Н. Проточное железнение в хлористом электролите [Текст] / А.Н. Батищев, А.Д. Давыдов, И.А. Спицын // Техника в сельском хозяйстве- №5- 1983- с.53-55.

19. Пиявський, Р. С. Гальванічні покриття в ремонтному виробництві [Текст] / Р. С. Пиявский // Київ: Техника- 1975- 176 с.

20. Эрлих, Д.М. Скорость осаждения железных покрытий на периодическом

- токе с обратным регулируемым импульсом [Текст] / Д.М. Эрлих, В.П. Косов // Труды КСХИ- т.123- Кишинев -1974- с.24-28.
21. Костин, Н.А. Способ электролитического железнения в хлористых электролитах [Текст] / Н.А. Костин, Ю.В. Михайленко, Н.П. Заика и др. // Описание изобретения к авторскому свидетельству № 1820921- 1963- 6 с.
22. Митряков, А.В. Получение прочносцепляющихся электролитических железных покрытий [Текст] / А.В. Митряков // Саратов: изд. Сарат. Ун-та- 1985- 191 с.
23. Козлов, В.М. Структура и механические свойства электролитических покрытий [Текст] / В.М. Козлов, В.И. Скиданенко // Тольятти: 1979- с. 29-30.
- Антошко, В.Я. Исследование структуры и физико-механических свойств электролитического железа, полученного асимметричным периодическим током [Текст] / В.Я. Антошко // Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Тольятти- 1974- с.36-51.
24. Вячеславов, П.М. Электролитическое осаждение сплавов [Текст] / П.М. Вячеславов // Л.: Машиностроение- 1986-112 с.
25. Серебровский, В.И. Способ электролитического осаждения сплава железо-молибден [Текст] / В.И. Серебровский, Л.Н. Серебровская, Н.В. Коняев и др. // Патент на изобретение №2174163- 2001- 6с.
26. Бородин, И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями [Текст] / И.Н. Бородин // М.: Машиностроение- 1982- 141 с.
27. Наумов, Л.В. Закономерности электроосаждения сплава кобальт- никель при различных режимах электролиза / Л.В. Наумов // Известия высших научных заведений. Поволжский регион. Технические науки. - №1- 2013.
28. Березин, Н.Б. Электроосаждение металлов и сплавов из водных растворов комплексных соединений / Н.Б. Березин, Н.В. Гудин, А.Г. Филиппова и др. // Издательство Казанского государственного технологического университета- Казань-2006- 109с.
29. Юдин, В.М. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин гальваническими покрытиями на основе цинка [Текст] / В.М. Юдин, М.Н. Вихарев // Вестник Орловского государственного аграрного университета- т.16-№1-2009-с.24-25.
30. Серебровский, В.И. Электроосаждение двухкомпонентных покрытий на основе железа / В.И. Серебровский, Р.И. Сафронов, В.В. Серебровский и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии-№1-2008.
31. Галь, Н. Термообработка покрытий, полученных способом твердого

- остаивания[Текст]/Н.Галь//«Автомобильный транспорт» №12- 1960- с. 22-25.
32. Ефремов, В.С. Исследование износостойкости деталей, упрочненных сульфацианированием применительно к с.-х. техники [Текст] / В.С. Ефремов // Автореф. Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.- 1969- с.17.
33. Лахтин, Ю.М. Ціанування пастами при індукційному нагріві електролітичних залізних покриттів [Текст]/ Ю.М. Лахтин, Л.П. Маслакова // Сб. «Захисні покриття на металах», вып.3. - Київ- 1970-с. 143-147.
34. Серебровский, В.В. Восстановление деталей автотранспортных двигателей электролитическим железнением на асимметричном токе [Текст]/ В.В. Серебровский//Совершенствование технологии восстановления деталей и ремонта машин в АПК. Материалы юбилейной научной конференции - Курск: Из-во КГСХА- 2006. -с.9-27.
35. Батищев, А.Н. Обоснование рационального способа восстановления деталей / А.Н. Батищев // Механизация и электрификация сельского хозяйства- 1992- №9-12. с.30-31.
36. Кроитору, Д.М. Технологии восстановления и упрочнения цилиндров двигателя износостойкими покрытиями / Д.М. Кроитору, Ж.И. Бобанова, Н.И. Ботошан // Электронная обработка материалов-2008- №2- с.46-54.
37. Серебровский, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин гальваническими покрытиями / В.В. Серебровский, Р.И. Сафронов // Механизация и электрификация сельского хозяйства- 2007.-№1.-с.18-19.
38. Виноградов, С.Н. Гальваническое покрытие металлами / С.Н. Виноградов, О.С. Виноградов, К.В.Таранцев // Пенза: Пензенский государственный университет,- 2008.-76 с.
39. Соколова, И.А. Особенности технологии гальванических процессов при восстановлении деталей машин / И.А. Соколова // ИзвестияКалининградского государственного технического университета, 2010. -№17.- с.94-98.
40. Саварец, А.И. Повышение долговечности трущихся пар машин и механизмов многокомпонентными электроосажденными сплавами железа. Дисс. докт. техн. наук. - М.: ГОСНИТИ, 1997. - 320 с.
41. Петров, Ю.Н. Повышение износостойкости электролитических железных покрытий [Текст]/ Ю.Н. Петров// Восстановление деталей электролитическим железом. - Кишинев: Штиинца, 1987.-с.3-13.

42. Петров, Ю.Н. Влияние механической обработки на износостойкость железных покрытий [Текст]/ Ю.Н.Петров, И.Д.Доготару// Тр.КСХИ, т.123-Кишинев, 1974. -с.71-78.
43. Прженосил Б. О структуре диффузионного слоя после низкотемпературной нитроцементации // Металловедение и термическая обработка металлов. 1974-№ 10. - С.2...6.
44. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1964. – 167 с.
45. Гольдшмит Х. Дж. Сплавы внедрения. В.1. – М.: Мир, 1974. – 624 с.
46. Курчаткин, В.В. Техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственных машин [Текст]/ В.В. Курчаткин // М.: ИЦ «Академия», 2003. 464 с.
47. Батищев, А.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники [Текст] / Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. // М.:Инфорагротех- 1995-294с.
48. Молодык Н.В. Восстановление деталей машин. [Текст] / Справочник. М.: Машиностроение- 1989- 480 с.
49. Кудрявцев Н.Т. Восстановление изношенных деталей методом осталивания [текст] /Л.А.Яковлева, М.Л. Мельникова// М.:МДНТП-1958.-76 с.
50. Кожakov, Б.Е. Электролит железнения [Текст]/ Б.Е. Кожakov, К.С. Ибишев // Описание к авторскому свидетельству №1818359,1993. – 4с.
51. Беленький М.А. Электроосаждение металлургических покрытий [Текст]/М.А. Беленький, А.Ф. Иванов // - М.: Металлургия, 1985. – 288 с.
52. Тарасова Т.А. Восстановление золотников гидрораспределителя скоростным железнением. Дисс. канд. техн. Наук. М., 1988.-154 с.
53. Шмучер, М.А. Гальванические покрытия в машиностроении [Текст]/М.А.Шмучер// Справочник, Том 2. Под ред. проф. М.А. Шмучера. – М.: Машиностроение, 1985.-246 с.
54. Сухотин, А.М. Справочник по электрохимии [Текст]/ Под ред. А.М. Сухотина// - Л.: Химия, 1982. – 486 с.
55. Гюлиханданов Е.Л. Особенности строения нитроцементованных слоев с повышенным содержанием азота [текст] /Е.Л.Гюлиханданов, Л.М.Семенова, Е.И.Шапочкин // Металловедение и термическая обработка металлов. 1990. - № 5. – с.12...15.
56. Блатнер М.С. Метод внутреннего трения металлведческих исследований. Справочник / М.С. Блантер, Ю.В. Пигузов, Г.М. Ашмарин и др. // – М.:

Металлургия, 1991. – 248 с.

57. Нарсия Х.С. Восстановление деталей электролитическими сплавами / Восстановление деталей с.-х. машин, тракторов и автомобилей: Экспресс-информ. / Госагропром СССР. АгроНИИТЭИИТ. – 1986. – вып. 11. – С.18 – 19.
58. Эрлих Д.М. Скорость осаждения железных покрытий на периодическом токе с обратным регулируемым импульсом / Д.М.Эрлих, ., В.П.Косов // Тр. КСХИ, т.123. – Кишинев: 1974- С.24-28.
59. Желанова Л.А. Физико-химические процессы при безводородной нитроцементации быстрорежущих сталей / Л.А.Желанова, С.В.Земский, А.И.Шумаков // Материалы и упрочняющие технологии – 97: Тезисы и материалы докладов международной научно-технической конференции (20...23 ноября 1997.) – Курск: КГТУ- 1997. – С.70...73.
60. Переверзев В.М. Влияние легирующих элементов на карбидообразование в железе и стали в процессе цементации / В.М.Переверзев, В.И.Колмыков // Металловедение и термическая обработка металлов-1981-№ 8- С. 11...14.
61. Гадалов В.Н. Современное состояние методов поверхностного упрочнения конструкционных и инструментальных материалов. /В.Н.Гадалов, Ф.Н.Рыжков // Материалы и упрочняющие технологии – 99: Сб. публикаций VII научно-техн. конференции (6...8 октября 1999 г.). – Курск: КГТУ- 1999. – С. 4...6.
62. Соболев И.М., Статникова Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями./И.М.Соболев, Р.Б.Статникова// М.:Наука- 1981.-110 с.
63. Батищев А.Н. Обоснование рационального способа восстановления деталей // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1992, № 9...12. – С. 30...31.
64. Гурьянов Г.В. Электроосаждение износостойких композиций. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 237 с.
65. Епштейн А.А., Фрейдлин А.С.. Відновлення деталей машин холодним гальванічним залізненням. - Київ: Техніка, 1981. - С. 63.64.
66. Черкун В. Е.. Ремонт тракторних гідравлічних систем. - К.: Техніка, 1984. - 253 с.
67. Полукаров Ю. М. Образование дефектов кристаллической решетки в электроосажденных металлах /Итоги науки. Сер. Электрохимия. – М.: ВИНТИ, 1968. т. 4.
68. Мамонтов Е.А. Образование дефектов структуры при электроосаждении железа // Физико-химические проблемы кристаллизации. –Алма-Ата: Изд-во

Каз. ун-та, 1971. вып. 2. – С .145...171.

39. Ташкин А.Е. Исследование влияния условий электролиза на некоторые механические характеристики электролитических железных покрытий. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Каунас, 1970. – 19 с.

70. Гологан В.Ф. Влияние условий электролиза на износостойкость электролитических железных покрытий применительно к ремонту деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Кишинев, 1968. – 20 с.

71. Пулатов А.Б. Исследование процесса железнения из холодных хлористых электролитов применительно к ремонту деталей машин. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М.: 1961. – 21 с.

72. Перегудов Ф.М. Установление изношенных автотракторных деталей электролитическим пористым железом. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Душанбе, 1963.

73. Душевский И.В. Исследование влияния условий электролиза на механические свойства железных покрытий, полученных из органических электролитов. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Кишинев, 1966. – 18 с.

74. Панин В.И., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В. Структурные уровни деформации твердых тел. – Новосибирск: Изд-во «Наука» , 1985. – 226 с.

75. Шаповалов В. И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.

76. Патент на корисну модель № 107045 Україна, МПК (2016) C25D 3/20. Електроліт для електроосадження твердих покриттів на основі заліза / Данилов Ф.Й., Проценко В.С., Васильєва О.О., Цуркан А.В.; Власник: Державний вищий навчальний заклад «Український державний хімікотехнологічний університет». – № 2015 07866 ; заявл. 07.08.2015 ; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.